

pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján

RAJKAI KÁLMÁN, VÁRALLYAY GYÖRGY, J. A. PACSEPSZKIJ
és R. A. SCSEBBAKOV

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest és a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Agrokémiai és Talajtani Intézete, Puscsino

A korszerű talajnedvesség-szabályozás szükségességét és körülményeit az éghajlati viszonyok, valamint a termesztett növények igényei mellett a talaj vízgazdálkodása szabja meg. Ennek alapvető tényezői a talajfelszín és a talaj-vízszint közötti háromfázisú talajrétegek egymásutánisága, vastagsága, települési viszonyai és vízgazdálkodási tulajdonságai: nedvességtartalma, a talaj nedvességállapota, kémiai összetétele, vertikális és horizontális mozgása. A talaj vízgazdálkodásának szabatos jellemzéséhez a felsorolt paraméterek pontos és mennyiségi adatain túlmenően szükség van azok tér- és időbeni dinamizmusának, az azt befolyásoló tényezőknek, azok hatásmechanizmusának pontos ismeretére is [38, 41].

Először is a talaj állapota és tulajdonságai határozzák meg, hogy a felszínre hulló csapadékvíz milyen hányada folyik el a felszínen, párolog el a felszínről, szivárog keresztül a talajszelvényen a talajvízig, illetve milyen hányada tározódhat a talajban. A termesztett növények biológiai sajátosságai, illetve a növényállomány jellemzői mellett ugyancsak a talaj tulajdonságai határozzák meg azt is, hogy a talajban tározott hányadnak mekkora része válik a növények számára ténylegesen felvehetővé, hasznosíthatóvá [39, 41].

A különböző célú és irányú meliorációs és mezőgazdasági vízgazdálkodási beavatkozások különböző szintű (üzemi, regionális, országos) tervezéséhez, megvalósításához, operatív irányításához megfelelő szintű és részletességű talajtani információ-anyag szükséges [7, 34, 38, 41].

A jól definiált, pontos fizikai tartalommal bíró, könnyen mérhető vagy jó közelítéssel számítható, pontos és mennyiségi hidrofizikai paraméterek iránti igény mennyiségben és sokoldalúságban rohamosan nő. Ezeket az igényeket talajtani tudományunk és talajvizsgálati gyakorlatunk egyre inkább képes megfelelő szinten, korszerűen kielégíteni [34]. Megfelelő talajtani adatbázis birtokában pontosan kijelölhetők a melioráció és a mezőgazdasági vízgazdálkodás legfontosabb feladatai, lehetővé válik a beavatkozások talajtani hatásának előrejelzése, és ennek alapján a legeredményesebb és leggazdaságosabb technológiai variánsok kidolgozása, illetve kiválasztása megfelelő tudományos megalapozottsággal történhet.

A talajtan egyik legnehezebben megoldható problémája a pontos adatok vonatkoztatása vertikálisan és horizontálisan egyaránt heterogén térbeli,

területi egységekre. Áll ez természetesen a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságaira vonatkozó adatok, mérési eredmények interpretációjára is. Erre elvileg és gyakorlatilag egyaránt három lehetőség adódik:

A) A látható, illetve korszerű technikai eljárásokkal (légifényképek, űrfelvételek stb.) láthatóvá tehető (pl. infravörös technika, multispektrális felvételek, fals-color technika stb.) tulajdonságok (pl. szín, nedvességtartalom okozta színváltozás, növények növekedése és fejlődése okozta színváltozás stb.) érzékszervi vagy műszeres nyomonkövetése, és megfelelő kiértékelése (denzitás meghatározása), valamint ezt követő megfelelő interpretáció után történő térképi ábrázolása;

B) A mérési pontok olyan mértékű sűrítése, amely a pontszerű értékeknek az igényelt pontosság szintjén történő területi vonatkoztatását, térképi (esetleg térbeli) ábrázolását teszi lehetővé;

C) Olyan összefüggések feltárása, amelyek felhasználhatóak a pontszerű adatok területre vonatkoztatásánál: pl. a mikrodomborzat – talaj, természetes növényzet – talaj összefüggések stb.

A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságaira vonatkozó pontszerű mérési adatok megfelelő pontosságú területi elhatároláshoz szükséges sűrítését elsősorban az akadályozza, hogy ezek egy részének meghatározása ma még meglehetősen nehézkes, idő- és munkaigényes, tömegvizsgálatokra nem, vagy nem a kellő mértékben alkalmas. Ezért nem mondhatunk le arról a lehetőségről, hogy (a korszerű és sorozatvizsgálatokra is alkalmas [31, 32], esetleg automatizálható mérési módszerek [5] kidolgozásával vagy adaptálásával párhuzamosan) olyan számszerű és jól definiálható fizikai tartalommal bíró oksági összefüggéseket keressünk az egyszerű talajfizikai jellemzők és a nehezebben meghatározható talaj-vízgazdálkodási paraméterek között, amelyek felhasználásával előbbiek közvetlen mérése alapján utóbbiak számíthatóak, jó közelítéssel becsülhetőek.

A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságai közül megkülönböztetett jelentőségű a talajnedvesség potenciálja, hisz a talajban levő víz növények általi felvehetőségét, mozgásának körülményeit egyaránt ez határozza meg. A talaj nedvességtartalma és a talajnedvesség mátrixpotenciálja közti összefüggést kifejező pF-görbék szemléletesen ábrázolják a különböző erőkkal kötött nedvességfrakciók, illetve a levegő mennyiségét, arányát a talaj háromfázisú rétegeiben. Ennek megfelelően sokoldalúan felhasználhatóak a talaj vízgazdálkodásának jellemzésére, az annak mesterséges szabályozását célzó különböző mezőgazdasági vízgazdálkodási beavatkozások tervezésének és kivitelezésének talajtani megalapozására [36, 40, 42]. A pF-görbék képezték pl. egyik alapját a hazai talajok vízgazdálkodási tulajdonságait, valamint vízháztartását jellemző kategóriarendszernek [41], illetve térképezési eljárásnak is [39, 41].

A Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetében az elmúlt években kialakítottuk a pF-görbék meghatározásának sorozatvizsgálatokra is alkalmas módszereit, berendezéseit [36]. Ezek felhasználásával hozták létre a pF-görbék első hazai tömegvizsgálati bázisát a MÉM NAK Tanakajdi Talajfizikai Laboratóriumában [34].

A pF-görbék pontos és kielégítő valószínűséggel történő területre vonatkoztatása, térképi ábrázolása a talaj vertikális és horizontális heterogenitása miatt csak olyan nagyszámú mérési adat alapján lehet eredményes, amely még a MÉM NAK tervezett további talajfizikai laboratóriumainak üzembeépését követően is csak évek múlva állhat rendelkezésre. Ezért a mért, pontszerű pF-

adatok területre vonatkoztatásához igen jelentős segítséget nyújthat a nagy számban ($\approx 10^6$) rendelkezésre álló, egyszerű talajfizikai paraméterek (helyszínen meghatározott fizikai talajféleség, térfogattömeg, laboratóriumban meghatározott ARANY-féle kötöttségi szám, higroszkóposság, leiszapolható rész mennyisége, valamint a mechanikai összetétel) és a pF-görbék ($\approx 10^2-10^3$) közti összefüggések elemzése, illetve a pF-görbék (vagy azok jellemző pontjainak) számítás útján történő közelítő meghatározása az egyszerű talajfizikai paraméterek alapján.

Jelen munkánkban az volt a célunk, hogy a Magyar Alföld legkülönbözőbb mechanikai összetételű, kémhatású, mészállapotú, eredetű és rétegzettségű talajtípusait (réti talaj, réti csernozjom, mészlepedékes csernozjom, öntéstalaj, lejtőhordalék, futóhomok, lepelhomok stb.) reprezentáló mintegy 50 talajszelvénynek genetikai szintjeiből, különböző rétegeiből begyűjtött közel 250 bolygatatlan szerkezetű talajmintán elemezzük a talaj mechanikai összetétele, térfogattömege és a mért pF-görbe közti összefüggéseket, és azok alapján módszert dolgozzunk ki a pF-görbéknek (illetve azok egyes pontjainak) a térfogattömeg és a mechanikai összetétel mért értékeiből történő közelítő számítására.

A szakirodalomban sok ilyen próbálkozásról olvashatunk. Hazánkban pl. KREYBIG, MADOS és ID. VÁRALLYAY [cit. 9] már a negyvenes években közöltek tapasztalati összefüggéseket az ARANY-féle kötöttségi szám, a MITSCHERLICH, KURON és SIK-féle higroszkóposság (H_y , h_y , h_{y1}), valamint a vízkapacitás és holtvíz-tartalom közötti kapcsolatra [9].

ZAWADZKI [45] a 0,02 mm-nél kisebb méretű szemcsék mennyisége, valamint a talaj szabadföldi vízkapacitása és hervadásponja között állapított meg szoros összefüggést. A térfogattömeg és a talaj víztartó képessége közt, Anglia és Wales talajain, REEVE, SMITH és THOMASSON végeztek részletes korreláció-elemzéseket és regresszió-vizsgálatokat [27].

NIELSEN és SHAW [25] egyszerű grafikus módszert dolgozott ki a talajok pF 4,2-vel ($\Psi = 15\ 000\text{ cm} \approx 15\text{ atm.}$) jellemzett holtvíz-tartalmának közelítő meghatározására a hidrométeres eljárással meghatározott homok- (0,05–2,0 mm), iszap- (0,002–0,05 mm) és agyagfrakció ($< 0,002\text{ mm}$) mennyisége alapján. A holtvíz-tartalom (HV) és a homokfrakció mennyisége között 1%-os szinten szignifikáns negatív, a HV és az agyagtartalom között szoros, nem lineáris pozitív korrelációt állapítottak meg, míg a HV és az iszaptartalom között nem találtak szignifikáns összefüggést. Még jobb összefüggést találtak a homok-, iszap- és agyagfrakció mennyiségének aránya, valamint a HV között.

CANARACHE [6] igen változatos romániai talajminta-anyagon végzett részletes statisztikai elemzést, amelyben a keretes módszerrel meghatározott szabadföldi vízkapacitás (VK_{sz}) és víztartó képesség (VT) szerepeltek függő, a talaj agyagtartalma (A), a fizikai talajféleség inhomogenitását jellemző index (IH) és a talajvízszint terepalatti mélysége (TM) pedig független változóként. A talajszelvény kedvező drénviszonyai esetén a $VK_{sz}-A$ összefüggést harmadfokú polinommal közelíti. Rossz drénviszonyok esetén a VT–IH összefüggést lineáris, a VT–TM összefüggést logaritmikus függvényekkel írja le. A tényezők közti integrált kölcsönhatásokat többváltozós regressziós egyenletrendszerekkel analizálta.

LAL [19] Nigéria talajait jellemző 120 mintára számított lineáris regressziót a homok- (0,05–2,0 mm) és agyagtartalom ($< 0,002\text{ mm}$), illetve a pF 0; 2,0; 2,4 és 4,2 szívóerőnél mért nedvességtartalom között. MORENO, MARTIN

és ARRUE [23] Nyugat-Andalúzia talajaira végzett hasonló elemzéseket a pF 4,2–6,0 tartományban.

SZUDNICIN [33] kimutatta, hogy a talaj különböző potenciálú nedvességfrakcióinak mennyisége erősen függ a talaj fizikai, fiziko-kémiai és kémiai tulajdonságainak összességétől. A rendszerint figyelembe vett tulajdonságok: a mechanikai összetétel, a térfogatsúly, a fajlagos felület, a kicserélhető ionok mennyisége és a szervesanyag-tartalom.

HOLLIS, JONES és PALMER [12] adatai szerint a pF 1,7 és 4,2 között mért nedvességtartalom elsősorban a talajok mechanikai összetételével és szervesanyag-tartalmával mutat összefüggést.

HUSZ [13] a pF-görbék jellemző pontjainak a mechanikai összetétel alapján történő számítását többszörös regresszióval közelítette. Az ozmózispotenciál számítására talajkémiai rutinelemzések eredményeinek felhasználásával dolgozott ki egyszerű egyenletet, szerkesztett könnyen alkalmazható nomogramokat [14].

HARTGE [11] ugyancsak egyszerű nomogramokat szerkesztett a talaj mechanikai összetétele, összporozitása és a mért pF-görbék közti összefüggések szemléltetésére. Az összefüggés szorossága miatt jó egyezést tapasztalt a pF-görbe mért és az említett két tényező alapján számított értékei között. Hasonló tapasztalatokról számol be RUSEVA [30] is különböző bulgáriai talajokon végzett vizsgálatait alapján.

BALAN [1] különböző romániai talajokon állapított meg lineáris regressziós összefüggéseket a talajok agyagtartalma, higroszkóposága, fajlagos felülete, adszorpciós kapacitása, valamint az 1, 4, 8 és 15 atm. erővel kötött nedvességfrakciók (pF 3,0; 3,6; 3,9; 4,2) mennyisége között.

Lengyelországban TRZECKI [35] 7 változós regresszióelemzéssel vizsgálta a KACSINSZKIJ szerinti mechanikai elemzés 6 szemcseméretű frakciója (1–0,1; 0,1–0,05; 0,05–0,20; 0,02–0,006; 0,006–0,002; < 0,002 mm), a talaj szervesanyag-tartalma, valamint a pF-görbe három pontja (pF 2,4 \approx szabadföldi vízkapacitás; pF 3,0; pF 4,2 \approx holtvíz-tartalom) közti összefüggést. Nagyszámú minta feldolgozása alapján különböző lengyelországi talajok szántott rétegére és ez alatti szintjére olyan — jó valószínűséggel általánosítható — parciális regressziós paramétereket ad meg, amelyek felhasználásával a mechanikai elemzés és a szervesanyag-meghatározás mért adatai alapján a pF-görbe említett három pontja jó közelítéssel számítható.

VISSER [43, 44] grafikus módszert dolgozott ki a pF-görbék (pF 1,0; 2,0; 3,4; 6,0) közelítő meghatározására egyszerűen mérhető, sőt már a helyszínen is becsülhető paraméterek: a pórustérfogat, a talaj humusz- és agyagtartalma, adszorpciós kapacitása alapján. Nomogramjairól az adszorpciós kapacitás „indexe” (S) (amelyet az agyagtartalom és a szervesanyag-tartalom négyeszeresének összegével közelít) és az egyszerű térfogatsúly-meghatározásból számítható összporozitás ismeretében közvetlenül leolvasható a pF 1,0; 2,0; 3,4 és 6,0 értéke, s e pontok alapján jó közelítéssel megszerkeszthető a pF-görbe. A nomogramokról rögtön szembetűnik, hogy a pF 1,0 szívóerőnél mért nedvességtartalom gyakorlatilag az összporozitástól, a pF 6,0 értéke pedig csak az S értéktől függ, míg a közbeeső tenziótartományban a két tényező integrált összhatása érvényesül. Elvében, sőt módszerében is teljesen hasonló grafikus eljárást közöl DUMITRU és CANARACHE [8], azzal a különbséggel, hogy nomogramjaikról az összporozitás és agyagtartalom ismeretében a pF 1,0; 1,6 és 2,0 értékhez tartozó nedvességtartalom olvasható le.

A kutatások egy másik iránya a talaj szilárd fázisát felépítő szemcsék fajlagos felülete és a pF-görbe között keres számszerű összefüggéseket [2, 10, 20, 21, 46, 47]. Mivel a magas tenziótartományban a talajnedvesség potenciálját döntő mértékben a különböző szorpciós erők határozzák meg, ezért ebben a tartományban szoros összefüggés van az elemi szemcsék fajlagos felülete és a talaj „szívóerejének” mértéke között, tehát a mátrixpotenciál jellemzése jól közelíthető az adszorpciós-típusú folyamatokat leíró egyenletekkel, adszorpciós izotermákkal [15, 16, 18, 20, 24, 28, 29, 33].

Az alacsonyabb tenziótartományban ez az összefüggés egyre kevésbé érvényes, hisz itt a talajnedvesség potenciálját főként más erők (kapilláris és gravitációs potenciál) befolyásolják, amelyek (elsősorban aggregált, szerkezetes talajok esetében) nem az elemi szemcsék fajlagos felületétől, hanem a szilárd fázist felépítő elemi szemcsék, mikro- és makroaggregátumok, szerkezeti elemek mérete, alakja, térbeli elrendeződése által meghatározott pórusgeometriától függenek.

A pF-görbe felső szakaszának leírása vagy az itt mért pontok (higroszkóposági értékszámok) alapján az egész görbét rekonstruálni igyekvő próbálkozások nem tekinthetők elméletileg kellőképpen megalapozottnak, hisz nincs közvetlen oksági összefüggés a pF-görbe felső és alsó szakasza között. Mivel ma még nincs megfelelő elmélet a pF-görbe egzakt számítására, előrejelzésére az alapvető tulajdonságok alapján (az adszorpció mechanizmusa és a pórusméretgeometria ugyanis túlságosan komplex ahhoz, hogy egy egyszerű modellel leírható legyen), ezért van szükség azokra az empirikus egyenletekre, amelyeket az egyes szerzők a pF-görbék közelítő számítására javasolnak. Ezek azonban többnyire csak bizonyos talajokra és bizonyos korlátozott nedvességtartományra érvényesek. A pF-görbék matematikai leírására magunk is számos módszert és eljárást vizsgáltunk meg, amelyről egy előző közleményünkben számoltunk be részletesen [22, 40].

A mért vagy számított pF-görbék további talajfizikai és vízgazdálkodási jellemzők (elsősorban a háromfázisú zóna kapilláris vezetőképességét jellemző $k(\Psi)$ vagy $k(\theta)$ függvény) számítására vagy becslés-szerű megállapítására is alkalmasak [17, 18, 24]. Igaz, hogy több szerző, így BLOEMEN [3] egyszerűbbnek tartja ez utóbbi paraméterek számítását közvetlenül a talaj mechanikai összetétele és humusztartalma alapján. BLOEMEN módszerét nemcsak homogén szelvényű hollandiai talajokra, hanem rétegzett talajszelvényekre is eredményesen alkalmazta [4] és számítógép-programot közöl az e talajokban végbe-menő kapilláris vízmozgás leírására, mennyiségi jellemzésére [4].

Vizsgálati anyag és módszer

A hazai talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata, kategória-rendszerének kidolgozása és e kategóriák 1 : 100 000 méretarányú térképének [41] elkészítése során a Magyar Alföldön feltárt szelvények közül mintegy ötvenet választottunk ki jelen vizsgálataink céljára (1. táblázat). A vizsgált talajok a következők voltak: futóhomok; mészlepedékes csernozjom; alföldi mészlepedékes csernozjom; mélyben sós alföldi mészlepedékes csernozjom; réti csernozjom; réti talaj; lepelhomokkal takart réti talaj; öntéstalaj; lejtőhordalék.

1. táblázat

A vizsgált talajminták megnevezése, származási helye, mechanikai összetétele és térfogattömege

(1) Kód- szám	(2) Talajtípus és származási hely	(3) Genetikai szint		(4) Mintavétel mélysége, cm	(5) Mechanikai összetétel, %						(6) Térfo- gat- tömeg, g/cm ³
		jele	mélysége, cm		0,25- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,002	<0,002	
					mm						
291	Lejtőhordalék	1	0 – 20	10 – 15	44,9	23,3	9,4	5,3	5,3	11,8	1,27
292	Szilas-3	2	20 – 40	25 – 30	47,8	21,6	8,2	4,9	5,7	11,8	1,54
293		3	40 – 60	45 – 50	54,2	13,0	5,3	6,1	2,8	18,6	1,56
294		4	60 –	75 – 80	51 0	13 0	5,6	2,8	4,5	23,1	1,55
297	Réti talaj	A ₂	18 – 38	25 – 30	15,2	16,5	13,5	11,5	9,1	34,2	1,29
298	Szilas-4	B ₁	38 – 60	45 – 50	25,5	16,5	11,1	7,8	8,2	30,9	1,25
299		B ₂	60 – 88	70 – 75	35,9	15,5	8,6	5,7	5,7	28,6	1,42
300		C	105 –	110 – 115	49,4	12,7	5,7	4,9	6,1	21,2	1,56
301		A	0 – 20	5 – 10	92,8	2,4	0,4	0,0	1,2	3,2	1,47
302	Futóhomok	B	20 – 35	25 – 30	91,2	3,2	0,8	0,8	2,4	1,6	1,42
303	Kunpeszér-1	B _{Ca}	35 – 55	40 – 45	92,0	3,2	0,0	0,8	0,8	3,2	1,51
304		C ₁	55 – 100	70 – 75	96,4	0,8	0,0	0,0	0,0	2,8	1,57
305		C ₂	100 –	125 – 130	96,0	0,8	0,0	0,0	0,0	3,2	1,54
306		A	0 – 20	5 – 10	98,0	0,0	4,8	0,0	0,0	4,4	1,35
307	Futóhomok	B	20 – 55	35 – 40	91,2	2,0	0,0	0,0	2,4	4,4	1,48
308	Kunpeszér-1/a	B _{Ca}	55 – 90	70 – 75	93,2	1,6	0,0	0,8	0,0	4,4	1,49
309		C ₁	90 – 126	105 – 110	95,6	1,6	0,0	0,0	0,0	2,8	1,53
310		C ₂	126 –	135 – 140	96,0	0,8	0,0	0,0	0,4	2,8	1,57
311	Lepelhomok-	A _{gy}	0 – 15	5 – 10	82,2	1,6	2,4	0,8	0,8	5,6	1,45
312	kal takart	A	15 – 45	25 – 30	85,5	3,2	1,6	1,6	1,2	6,9	1,51
313	réti talaj	(A)	45 – 80	60 – 65	57,0	7,6	3,6	3,6	2,4	25,8	1,37
314	Kunpeszér-2	B _{Ca}	80 – 115	95 – 100	42,7	10,0	3,6	1,6	8,8	33,3	1,55
315		C ₁	115 – 150	130 – 135	61,2	8,8	6,0	2,0	5,6	16,4	1,75
316		C ₂	150 –	155 – 160	85,2	4,4	0,8	2,8	4,0	2,8	1,59
317	Lepelhomok-	A	15 – 35	20 – 25	85,6	1,2	1,6	1,6	2,8	7,2	1,45
318	kal takart	(A)	35 – 70	50 – 55	57,5	7,6	2,8	2,8	4,4	24,9	1,27
319	réti talaj	B _{Ca}	70 – 110	85 – 90	45,8	7,2	4,8	4,8	3,6	33,8	1,50
320	Kunpeszér-2/a	C ₁	110 – 140	125 – 130	58,6	8,8	3,6	4,8	5,6	18,6	1,74
321		C ₂	140 – 160	150 – 155	92,4	1,6	0,8	1,2	1,2	2,8	1,63
323	Réti talaj	A	15 – 45	20 – 25	28,5	15,7	10,4	4,4	9,2	31,8	1,34
324	Kunpeszér-3			35 – 40	28,5	15,7	10,4	4,4	9,2	31,8	1,51
325		B	45 – 82	60 – 65	34,5	11,6	9,2	7,2	9,2	28,3	1,66
327	Réti talaj	A	20 – 52	25 – 30	25,3	14,1	13,3	8,8	10,4	28,1	1,36
328	Kunpeszér-3/a			40 – 45	25,3	14,1	13,3	8,8	10,4	28,1	1,50
329		B	52 – 80	65 – 70	32,9	12,4	8,6	8,8	10,4	26,9	1,55
330		C	100 –	115 – 120	63,5	7,6	4,5	7,2	6,4	10,8	1,56
331				130 – 135	84,7	5,3	0,4	4,4	2,0	3,2	1,50
426	Réti csernoz-	A	0 – 38	30 – 35	21,5	12,5	12,5	6,4	12,5	34,5	1,36
427	jom	B	38 – 78	60 – 65	11,8	20,2	13,8	8,9	8,9	36,4	1,33
428	Csanádapáca	BC	78 – 105	90 – 95	10,9	16,7	18,6	6,9	9,3	37,6	1,38
429	Alföldi mész-	A _{sz1}	0 – 10	2 – 7	9,3	23,6	12,4	11,6	10,1	32,0	1,12
430	lepedékes	A _{sz2}	10 – 28	20 – 25	7,7	23,1	15,0	10,1	9,7	34,4	1,22
431	csernozjom	A	28 – 51	40 – 45	10,6	17,8	16,2	8,9	9,7	36,8	1,33
432	Nagyszénás	B	51 – 72	60 – 65	7,2	17,0	16,2	8,1	12,6	38,9	1,38
433		BC	72 – 110	80 – 85	10,0	17,0	16,0	11,3	9,3	36,4	1,36

1. táblázat folytatása

(1) Kód- szám	(2) Talajtípus és származási hely	(3) Genetikai szint		(4) Mintavétel mélysége, cm	(5) Mechanikai összetétel, %						(6) Terfo- gat- tömeg, g/cm ³
		jele	mélysége, cm		0,25- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,002	< 0,002	
					mm						
434	Alföldi mész-	A _{Sz}	0 – 30	10 – 15	25,5	20,6	13,0	5,6	7,7	27,6	1,43
435	lepedékes	A	30 – 50	40 – 45	28,7	20,6	9,7	8,1	6,1	26,8	1,52
436	csernozjom	B	50 – 75	60 – 65	25,6	22,7	9,3	7,2	8,9	26,3	1,40
437	Eperjes	BC ₁	75 – 90	80 – 85	23,8	23,8	8,5	12,4	3,6	27,9	1,38
439	Alföldi mész-	A _{Sz}	0 – 25	10 – 15	11,4	29,6	18,6	6,4	8,5	25,5	1,44
440	lepedékes	A	25 – 47	20 – 25	11,4	29,6	18,6	6,4	8,5	25,5	1,36
441	csernozjom	B	47 – 82	60 – 65	11,4	26,3	15,8	7,3	7,3	31,9	1,17
442	Mezőhegyes	BC ₁	82 – 110	90 – 95	10,5	26,3	17,0	7,7	8,5	30,0	1,20
443		BC ₂	110 – 140	120 – 125	16,6	24,3	13,0	6,4	8,5	31,2	1,28
444		C	140 –	150 – 155	27,9	16,2	9,3	6,4	4,5	31,7	1,38
445	Mélyben sós	A _{Sz}	0 – 30	10 – 15	16,3	25,5	14,6	6,4	8,9	28,3	1,41
446	alföldi mész-	A	30 – 53	40 – 45	13,4	26,3	14,2	8,9	6,8	30,4	1,38
447	lepedékes csernozjom Makó	B	53 – 84	60 – 65	13,7	23,0	18,6	4,5	5,3	34,9	1,38
448	Réti talaj	A	0 – 30	15 – 20	8,5	11,3	8,1	5,6	8,1	58,4	1,22
449	Sarkad	B	30 – 80	50 – 55	11,3	12,5	11,7	5,2	6,1	54,2	1,31
450	Alföldi mész-	A _{Sz1}	0 – 25	10 – 15	16,2	23,9	13,7	12,5	10,5	23,2	1,29
451	lepedékes	A _{Sz2}	25 – 36	25 – 30	15,8	23,9	15,0	10,1	10,1	25,1	1,32
452	csernozjom	A	36 – 55	40 – 45	14,2	23,8	13,7	11,7	8,9	27,7	1,18
453	Gyoma	B	55 – 127	90 – 95	16,2	17,4	13,3	10,1	8,1	34,9	1,26
455	Réti talaj	A _{Sz}	0 – 25	15 – 20	6,9	9,3	8,1	9,3	5,7	60,7	1,22
456	Körösladány	B ₁	25 – 65	45 – 50	8,9	4,5	8,9	8,5	9,7	59,5	1,28
458		C	100 –	100 – 105	7,3	16,2	13,0	10,9	6,9	45,7	1,48
459	Mélyben sós	A _{Sz1}	0 – 25	10 – 15	14,5	26,3	11,7	6,9	7,7	32,9	1,38
460	alföldi mész-	A _{Sz2}	25 – 35	25 – 30	20,2	18,2	11,3	7,3	8,5	34,5	1,32
460/a	lepedékes csernozjom Szentés			110 – 115	13,7	26,3	12,5	7,7	7,7	32,1	1,46
461	Réti talaj	A	0 – 21	10 – 15	11,3	17,7	16,5	13,3	6,9	34,3	1,58
462	Mezőtúr	B	21 – 62	25 – 30	6,0	16,5	16,9	10,1	10,1	40,4	1,60
463				50 – 55	8,5	13,3	10,5	14,5	5,6	47,6	1,45
464		BC	62 – 89	70 – 75	6,5	14,5	18,2	8,8	10,5	41,5	1,40
465		C	89 – 130	100 – 105	8,5	12,1	24,2	9,7	14,9	30,6	1,41
466	Réti csernoz-	A _{Sz}	0 – 30	15 – 20	12,9	22,2	12,1	8,5	9,2	35,1	1,44
467	jom	A	30 – 54	40 – 45	12,9	21,8	12,9	10,5	9,6	32,3	1,51
468	Mezőtúr	B ₁	54 – 79	65 – 70	12,9	21,8	16,9	6,0	7,3	35,1	1,40
469		B ₂	79 – 101	90 – 95	11,3	23,0	13,3	11,3	9,3	31,8	1,34
470		BC	101 – 125	115 – 120	9,7	24,2	12,9	10,9	10,1	32,2	1,35
471		C	125 – 160	150 – 155	17,3	27,0	12,5	9,7	9,7	23,8	1,46
473	Réti talaj	A	15 – 30	20 – 25	2,4	15,3	12,1	8,5	14,1	47,6	1,58
474	Kisújszállás	B ₁	30 – 55	40 – 45	6,0	20,6	3,2	4,4	9,6	56,2	1,24
475		B ₂	55 – 80	65 – 70	5,6	8,8	5,6	14,1	9,3	56,6	1,48
476		BC	80 – 107	85 – 90	3,2	6,5	5,6	15,3	15,3	54,1	1,44
477		C	107 – 130	115 – 120	4,4	13,7	14,5	23,4	10,5	33,5	1,33
478	Réti csernoz-	A _{Sz}	0 – 25	15 – 20	19,0	20,2	10,9	5,6	15,3	29,0	1,43
479	jom	A	25 – 42	30 – 35	18,1	18,5	14,5	10,1	8,1	30,7	1,38
480	Kiskun-	B	42 – 68	50 – 55	15,3	21,8	9,6	10,5	10,5	32,3	1,43
481	madaras	BC	68 – 93	75 – 80	17,7	20,2	10,9	12,5	5,2	33,5	1,57
482		C	93 – 140	125 – 130	16,5	23,4	10,1	15,3	8,5	26,2	1,12

1. táblázat folytatása

(1) Kód- szám	(2) Talajtípus és származási hely	(3) Genetikai szint		(4) Mintavétel mélysége, cm	(5) Mechanikai összetétel, %						(6) Térfo- gat- tömeg, g/cm ³
		jеле	mélysége, cm		0,25- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,002	< 0,002	
					mm						
484	Alföldi mész-	A _{sz}	0 – 28	15 – 20	15,7	19,0	10,8	12,5	6,5	35,5	1,16
485	lepedékes	A	28 – 50	35 – 40	18,1	18,5	8,9	10,1	9,7	34,7	1,27
486	csernozjom	B	50 – 70	55 – 60	16,9	17,3	15,3	5,6	9,7	35,2	1,38
487	Kenderes	BC	70 – 105	85 – 90	13,3	18,5	14,1	10,1	8,1	35,9	1,46
488		C	105 – 150	140 – 145	17,3	20,1	9,7	11,3	8,1	33,5	1,44
489	Kétrótegű	A _{sz}	0 – 15	10 – 15	10,1	24,2	11,7	10,1	9,3	34,6	1,40
490	öntéstalaj	A ₁	15 – 40	25 – 30	12,0	23,0	10,9	10,9	8,5	34,7	1,36
491	Szolnok	A ₂	40 – 85	60 – 65	25,4	15,7	3,2	8,1	9,3	38,3	1,18
492		C	85 – 120	100 – 105	48,8	17,7	4,0	4,8	6,2	18,5	1,54
493	Réti talaj	A	0 – 20	10 – 15	10,5	27,4	10,5	10,1	4,8	36,7	1,34
494	Szolnok	B	20 – 55	40 – 45	14,1	18,1	14,9	7,3	3,6	41,9	1,36
495		BC	55 – 90	75 – 80	9,7	24,2	13,3	8,8	9,7	34,3	1,38
496		C	90 – 120	105 – 110	19,4	24,6	12,9	10,9	5,6	26,6	1,48
497	Réti talaj	A _{sz}	0 – 17	7 – 12	18,5	23,0	10,1	6,9	13,3	28,2	1,45
498	Kungyalu	A	17 – 40	25 – 30	12,8	27,0	11,7	7,7	7,3	33,5	1,47
499		B	40 – 57	45 – 50	13,2	25,0	10,9	8,5	8,5	33,9	1,52
500		BC	57 – 78	65 – 70	13,3	25,0	10,8	6,5	11,3	33,1	1,45
501		C ₁	78 – 105	85 – 90	17,7	27,4	11,7	8,8	6,0	28,4	1,55
502		C ₂	105 – 125	110 – 115	10,9	36,3	10,1	9,2	6,9	26,6	1,47
503	Alföldi mész-	A _{sz}	0 – 20	10 – 15	13,7	17,3	9,3	11,7	6,9	41,1	1,57
504	lepedékes	A	20 – 44	30 – 35	10,5	20,2	10,1	10,1	9,6	39,5	1,62
506	csernozjom	BC	60 – 90	75 – 80	12,9	12,1	14,5	7,3	14,1	39,1	1,64
507	Tiszaföldvár	C	90 – 140	115 – 120	10,9	23,4	9,7	11,7	9,3	35,0	1,54
508	Alföldi mész-	A _{sz}	0 – 17	7 – 12	8,9	14,5	16,5	11,7	8,5	39,9	1,55
509	lepedékes	A	17 – 43	30 – 35	11,7	15,7	15,3	11,3	6,5	39,5	1,40
510	csernozjom	B ₁	43 – 83	60 – 65	8,1	15,3	14,9	11,7	11,7	38,3	1,27
511	Martfű	BC	83 – 113	100 – 105	7,7	15,7	17,3	9,6	12,2	37,5	1,40
512		C ₁	113 – 150	125 – 130	12,1	13,3	13,3	15,7	6,9	38,7	1,36
513		C ₂	150 – 180	170 – 175	10,1	16,5	11,7	13,3	13,7	34,7	1,49
514	Nyers Tisza-	1	0 – 8	0 – 5	12,5	21,8	15,7	12,1	9,3	28,6	1,48
515	öntéstalaj	2	8 – 40	20 – 25	30,2	30,6	10,5	4,4	6,2	18,1	1,44
516	Martfű	3	40 – 80	45 – 50	34,3	28,2	10,9	4,0	6,1	16,5	1,46
517	Réti talaj	A _{sz}	0 – 30	0 – 5	12,1	8,5	8,8	7,3	12,1	51,2	1,46
518	Palotás			22 – 27	12,1	8,5	8,8	7,3	12,1	51,2	1,55
519		A	30 – 57	40 – 45	9,7	8,8	7,7	9,7	7,7	56,4	1,32
520		B	57 – 77	65 – 70	7,3	6,9	5,6	8,5	8,8	62,0	1,32
522		C ₂	102 – 130	120 – 125	8,8	11,3	4,8	11,3	14,2	49,6	1,42
523	Réti talaj	A ₁	0 – 40	0 – 5	9,6	15,3	4,1	6,9	7,7	56,4	1,50
524	Jászládány			20 – 25	7,3	10,4	7,7	5,2	12,1	57,7	1,50
527		B ₂	97 – 130	100 – 105	10,0	5,2	4,0	10,0	7,3	63,5	1,52
528		C	130 – 160	135 – 140	8,5	5,6	4,8	10,1	8,5	62,5	1,41
571	Csernozjom	A ₁	0 – 19	10 – 15	30,5	26,5	12,9	3,6	5,2	21,3	1,34
572	réti talaj	A ₂	19 – 33	25 – 30	30,1	30,1	8,8	3,3	6,4	21,3	1,48
573	Csikéria	B	33 – 55	40 – 45	23,7	26,1	11,3	6,8	5,6	26,5	1,45
575	Alföldi mész-	A	0 – 25	10 – 15	22,9	40,2	10,8	5,6	5,2	15,3	1,50
576	lepedékes	B	25 – 40	30 – 35	17,7	43,0	12,0	5,6	3,6	18,1	1,51
577	csernozjom	BC	40 – 65	50 – 55	16,9	36,9	11,7	7,6	5,2	21,7	1,65
578	Csávoly	C	65 – 90	80 – 85	16,5	40,5	13,3	6,4	4,8	18,5	1,40

1. táblázat folytatása

(1) Kód- szám	(2) Talajtípus és származási hely	(3) Genetikai szint		(4) Mintavétel mélysége, cm	(5) Mechanikai összetétel, %						(6) Térfo- gat- tömeg, g/cm ³
					0,25- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,002	<0,002	
		jele	mélysége, cm		mm						
579	Réti	A	0 – 40	20 – 25	22,5	36,5	12,0	8,5	4,0	16,5	1,52
580	csernozjom	B	40 – 55	45 – 50	20,1	36,5	13,3	5,2	6,0	18,9	1,59
581	Felsőszent- iván	BC	55 – 70	60 – 65	20,9	34,5	10,8	7,2	4,4	22,2	1,50
582		C	70 – 110	80 – 85	23,3	36,2	10,4	6,4	6,8	16,9	1,49
583	Réti	A	0 – 30	15 – 20	51,8	19,3	8,0	2,0	5,6	13,3	1,38
584	csernozjom	B	30 – 52	35 – 40	49,8	16,9	6,4	6,4	2,4	18,1	1,42
585	Mélykút	BC	52 – 62	55 – 60	41,8	22,5	8,0	4,8	6,8	16,1	1,38
586		C	62 – 110	65 – 70	53,8	20,9	5,3	3,2	5,2	11,6	1,55
587	Alföldi mész- lepedékes	A	0 – 27	10 – 15	28,9	30,9	14,1	3,2	4,0	18,9	1,40
588		B	27 – 40	30 – 35	23,7	34,1	10,8	7,3	3,6	20,5	1,39
589	csernozjom	BC	40 – 60	45 – 50	21,7	32,5	11,3	6,8	6,0	21,7	1,23
590	Rém	C	60 – 120	80 – 85	24,5	34,5	11,3	6,8	6,4	16,5	1,36
591	Réti	A	0 – 32	10 – 15	26,5	33,7	11,7	3,2	7,2	17,7	1,54
592	csernozjom	B	32 – 60	45 – 50	20,1	35,3	13,7	5,2	6,0	19,7	1,31
593	Borotva	BC	60 – 90	75 – 80	26,1	38,2	8,0	6,0	5,6	16,1	1,43
594		C	90 – 135	110 – 115	27,3	43,5	10,8	2,0	4,8	11,6	1,48
595	Csernozjom	A	0 – 35	15 – 20	91,6	0,0	0,0	0,0	3,2	1,2	1,55
596	jelleghű homok eltemetett réti talajon Öttömös	A _e	35 – 95	60 – 65	82,7	0,0	3,2	0,0	0,0	6,1	1,52
597	Réti talaj	A	0 – 23	10 – 15	26,6	12,9	11,6	4,8	8,8	35,3	1,54
598	Sükösd	B ₁	23 – 37	28 – 33	24,0	15,6	9,6	8,4	8,0	34,4	1,46
599		B ₂	37 – 50	40 – 45	25,8	14,5	8,8	11,2	10,0	29,7	1,57
613	Mész- lepedékes	A _{sz}	0 – 20	10 – 15	35,9	34,3	7,7	5,2	2,0	14,9	1,53
614		A _{ek}	20 – 30	22 – 27	39,1	31,0	8,9	5,2	2,0	13,7	1,58
615	csernozjom	A	30 – 52	40 – 45	30,2	37,9	10,0	4,4	3,2	14,3	1,51
616	Lovasberény	B	52 – 115	80 – 85	36,3	33,9	7,3	3,2	4,0	15,3	1,47
617		BC	115 – 140	120 – 125	31,4	34,3	9,7	2,0	4,4	18,2	1,34
618		C	140 – 180	160 – 165	32,7	37,1	7,3	3,6	3,6	15,7	1,35
619	Alföldi mész- lepedékes	A _{sz}	0 – 35	20 – 25	25,8	32,7	10,9	4,8	6,0	19,8	1,16
620		A	35 – 50	40 – 45	24,6	27,8	13,7	6,9	4,0	23,0	1,57
621	csernozjom	B	50 – 68	55 – 60	23,0	29,0	10,5	7,7	8,0	21,8	1,36
622	Velence	BC	68 – 90	75 – 80	27,0	29,8	10,9	4,4	7,3	20,6	1,44
623		C	90 – 120	100 – 105	31,0	34,3	8,1	4,0	6,5	16,1	1,48
624	Alföldi mész- lepedékes	A _{sz}	0 – 23	5 – 10	17,7	32,2	11,7	8,1	8,1	22,2	1,49
625		A	23 – 43	30 – 35	19,4	32,7	11,7	5,6	8,1	22,5	1,45
626	csernozjom	B	43 – 65	50 – 55	18,1	31,8	12,5	7,6	5,6	24,4	1,32
627	Pusztá- szabolcs	BC	65 – 80	70 – 75	16,9	33,1	12,5	5,7	8,8	23,0	1,32
628		C	80 – 110	90 – 95	21,8	32,7	12,5	5,6	5,6	21,8	1,43
629	Alföldi mész- lepedékes	A _{sz}	0 – 30	10 – 15	28,2	22,2	10,5	8,1	5,2	25,8	1,30
630		B ₁	30 – 50	35 – 40	26,2	23,0	10,5	7,3	6,0	27,0	1,46
631	csernozjom	B ₂	50 – 68	55 – 60	27,0	19,4	10,1	7,3	9,7	26,5	1,40
632	Lajos- komárom	BC	68 – 85	75 – 80	28,2	23,0	7,3	7,7	10,8	23,0	1,48
633		C	85 – 115	95 – 100	34,3	25,8	12,1	5,6	4,8	17,4	1,42
634	Mész- lepedékes	A	0 – 25	10 – 15	31,2	11,3	4,4	7,3	21,0	15,2	1,52
635		B	25 – 45	35 – 40	22,6	30,6	10,1	6,8	7,6	22,3	1,30
636	csernozjom	BC	45 – 65	50 – 55	21,8	30,2	9,7	8,4	10,5	19,4	1,27
637	Mezőszilas	C	65 – 100	80 – 85	26,6	32,2	10,1	5,6	10,1	15,4	1,29

1. táblázat folytatása

(1) Kód- szám	(2) Talajtípus és származási hely	(3) Genetikai szint		(4) Mintavétel mélysége, cm	(5) Mechanikai összetétel, %						(6) Térfo- gat- tömeg, g/cm ³
		jele	mélysége, cm		0,25- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,002	<0,002	
					mm						
638	Alföldi mész-	A _{SZ}	0 — 22	10 — 15	44,4	19,3	8,8	5,2	4,4	17,7	1,72
639	lepedékes	A	22 — 40	23 — 28	47,2	18,5	7,6	3,6	3,3	19,8	1,72
640	csernozjom Tác			32 — 37	43,3	19,3	8,4	1,6	4,8	22,6	1,43
641	Réti talaj	A ₂	10 — 25	15 — 20	0,4	12,9	14,9	11,3	16,1	43,6	1,23
642	Galgamácsa	B ₁	25 — 50	35 — 40	0,8	14,9	10,0	13,8	11,3	48,8	1,32
643		B ₂	50 —	60 — 65	2,8	8,8	11,3	12,5	12,9	50,9	1,31
644	Réti cser-	A ₂	10 — 22	10 — 15	7,7	25,8	12,1	9,6	9,3	34,7	1,51
645	nozjom	BC	65 — 105	75 — 80	3,2	22,2	10,0	9,3	6,8	47,7	1,63
646	Óhat	C	105 —	120 — 125	5,2	23,0	11,3	8,4	10,0	41,3	1,56

A vizsgált talajok pipettás-módszerrel [37] meghatározott mechanikai összetételét az 1. táblázatban foglaltuk össze. A meghatározás során az alábbi szemcsefrakciók mennyiségét határoztuk meg és használtuk fel számításainkhoz:

- | | | |
|-------------------|---------------|-------------|
| 1. 0,25—0,05 mm | } iszap (por) | finom homok |
| 2. 0,05—0,02 mm | | |
| 3. 0,02—0,01 mm | | |
| 4. 0,01—0,005 mm | | |
| 5. 0,005—0,002 mm | | |
| 6. < 0,002 mm | | agyag |

A bolygatatlan szerkezetű mintákat kb. szabadföldi vízkapacitásnyi nedvességtartalmú talajokból gyűjtöttük. Ezeken határoztuk meg a talajok térfogat-tömegét, amelyet ugyancsak az 1. táblázatban közlünk.

A pF-görbék meghatározását az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban VÁRALLYAY homoklap- és kaolinlap-berendezéseiben [34, 36, 37] végeztük, 5 cm magas, 20 cm² keresztmetszetű, 100 cm³ térfogatú, bolygatatlan szerkezetű talajmintákon, 2—2 ismétlésben. A minták vízzel történő telítése során a mintákat tartalmazó hengerek felső nyílását lyuggatott műanyag sapkával lezártuk a felszín duzzadásának, illetve a minta térfogatváltozásának megakadályozására. A magas tenziótartományban nyomásmembrános készülékben végeztük a meghatározást, vízzel előzetesen telített, bolygatott szerkezetű talajmintákon [32]. A pF 6,2 értékét a vonatkozó szabványban [37] leírt módon meghatározott h_{y1} értékből számítottuk ($pF\ 6,2 = h_{y1} \cdot \text{térfogattömeg}$). A vizsgálatok során a minta pF 0,0; 0,4; 1,0; 1,5; 2,0; 2,3; 2,7; 3,4; 4,2 és 6,2 értékeknél beállt egyensúlyi nedvességtartalmát mértük és fejeztük ki térfogatszázalékban. E mérési eredményeinket tartalmazza a 2. táblázat.

A vizsgált talajmintákon belül a következő csoportosítást végeztük el:

- I. Réti talajok (68 db minta)
- II. Csernozjomok (110 db minta)
- III. Egyéb (68 db minta)

Az I. és II. csoport különválasztása annak érdekében történt, hogy a Magyar Alföld két uralkodó talajtípusának (a réti talajoknak és a csernozjomok-

2. táblázat

A vizsgált talajminták pF-értékei

(1) Kódszám	(2) Nedvességtartalom, térfogot %									
	pF									
	0,0	0,4	1,0	1,5	2,0	2,3	2,7	3,4	4,2	6,2
291	51,2	50,1	48,8	47,7	46,3	45,0	42,5	28,0	17,5	3,8
292	42,3	42,1	40,8	40,0	39,1	37,7	35,6	29,6	16,0	5,2
293	40,8	40,0	39,7	38,4	37,7	36,8	34,9	24,7	13,5	3,9
294	40,8	40,3	39,5	38,3	37,5	36,9	35,4	21,7	16,1	2,6
297	50,9	50,6	49,5	48,8	47,6	46,5	45,0	39,3	30,0	6,5
298	50,2	49,6	47,8	46,7	45,6	44,7	43,1	37,5	25,5	5,4
299	46,0	44,6	43,5	43,1	42,5	42,1	41,2	35,0	22,5	6,7
300	42,5	42,0	40,7	39,3	36,9	35,6	33,4	18,8	9,7	4,1
301	42,3	40,9	38,3	35,9	15,1	8,9	5,4	2,9	2,2	0,3
302	43,1	42,0	40,0	37,8	26,6	11,2	6,8	2,9	2,2	0,1
303	41,0	40,0	37,6	34,6	9,5	7,1	4,9	2,5	2,2	0,3
304	40,2	38,1	36,6	33,8	20,4	8,5	5,0	2,1	1,6	0,2
305	40,6	40,5	38,6	36,1	26,0	9,3	5,4	2,3	1,7	0,2
306	46,3	45,6	43,7	40,8	22,7	12,8	8,3	4,7	3,1	0,4
307	40,7	40,0	38,0	36,0	15,8	7,5	5,9	3,6	2,5	0,3
308	41,7	41,2	39,0	36,7	16,4	7,2	4,6	2,5	1,6	0,2
309	40,6	40,3	39,3	36,5	12,5	5,9	4,0	2,0	1,5	0,2
310	39,4	38,1	35,6	32,5	20,3	10,6	5,0	2,0	1,2	0,2
311	43,6	43,3	42,2	40,2	33,1	24,1	14,0	6,1	4,2	0,9
312	42,9	42,6	41,2	37,9	19,5	13,2	9,7	6,5	4,7	2,0
313	47,0	45,6	41,8	37,9	33,3	30,5	26,1	18,7	11,4	1,9
314	40,6	40,0	38,0	35,0	32,0	29,9	26,2	19,3	11,3	1,1
315	34,3	33,6	32,6	31,6	30,8	29,8	28,6	25,2	11,8	1,1
316	40,2	39,5	38,4	36,3	28,9	22,2	15,4	5,7	2,8	0,3
317	45,0	44,4	42,4	38,2	25,9	20,2	14,9	8,9	5,6	1,0
318	50,4	49,2	45,6	39,6	32,8	29,0	25,3	18,2	12,4	1,9
319	41,0	40,0	37,5	34,6	30,8	28,5	25,4	18,7	11,8	1,2
320	34,8	33,9	32,5	30,4	28,3	27,2	24,4	17,8	9,0	0,9
321	40,1	39,7	37,5	33,7	20,1	15,8	11,4	6,2	2,7	0,3
322	48,2	47,8	46,1	43,3	40,7	38,9	36,0	30,0	19,3	1,9
324	41,7	41,3	38,6	36,4	34,0	32,0	29,4	22,7	15,1	2,1
325	38,4	37,8	36,0	34,7	33,4	32,5	31,2	27,3	18,1	1,3
327	45,9	45,0	43,5	41,5	39,1	37,6	35,6	30,1	20,6	1,6
328	41,1	39,6	37,7	35,0	33,4	32,1	29,9	26,4	19,6	1,8
329	40,1	39,3	37,1	35,5	33,4	32,7	31,8	27,7	16,6	1,2
330	40,2	39,9	38,4	36,5	33,8	30,8	25,1	7,4	4,7	0,8
331	43,2	42,6	41,1	39,8	36,4	31,2	23,9	6,4	3,3	0,8
426	48,7	47,3	46,0	45,4	45,0	44,6	43,5	31,0	22,1	4,1
427	46,5	45,9	44,3	42,9	41,2	40,0	37,9	32,5	24,4	3,8
428	47,9	46,8	45,9	45,1	43,8	42,7	40,0	33,0	22,4	3,8
429	55,9	50,4	42,5	36,4	32,4	30,8	28,7	23,7	16,8	3,5
430	50,8	46,4	42,6	39,8	37,8	36,7	34,4	28,2	19,2	3,7
431	48,8	46,0	43,1	41,5	39,8	38,6	37,8	32,0	24,0	3,8
432	46,9	45,5	43,4	41,7	40,1	39,0	37,7	34,5	25,9	3,6
433	47,0	45,4	43,5	42,5	41,4	40,4	38,2	33,1	23,5	3,4
434	44,9	43,3	42,0	41,0	39,9	39,0	37,2	29,3	19,0	3,5
435	41,4	41,0	40,0	39,2	38,1	37,5	35,9	29,4	20,0	3,5
436	46,8	46,0	44,9	43,3	41,5	40,0	37,5	29,0	18,5	2,5
437	45,9	45,5	44,0	43,0	41,6	40,1	36,5	25,2	16,5	2,3
439	46,0	44,0	42,3	41,2	40,4	39,5	37,5	30,8	20,0	3,0
440	47,0	46,0	44,0	41,6	38,9	37,0	34,0	26,9	18,5	2,8
441	54,0	51,3	46,2	41,5	36,4	33,3	29,2	23,0	16,3	2,1
442	51,1	47,4	42,6	38,7	35,1	32,6	29,2	22,9	15,7	2,4

2. táblázat folytatása

(1) Kódszám	(2) Nedvességtartalom, térfogat %									
	pF									
	0,0	0,4	1,0	1,5	2,0	2,3	2,7	3,4	4,2	6,2
443	47,9	46,5	43,4	40,5	37,0	34,6	31,3	23,7	15,8	1,9
444	45,7	45,0	43,4	41,4	38,2	35,9	32,2	24,5	15,6	1,8
445	45,5	45,0	44,0	42,8	41,2	39,6	37,1	27,3	17,5	2,9
446	44,8	43,1	41,6	40,4	38,6	37,3	34,1	26,4	18,2	2,9
447	48,5	46,7	45,3	43,7	42,5	41,3	38,8	30,0	18,2	2,5
448	53,9	53,3	52,8	51,9	50,9	49,8	47,7	40,4	28,9	6,5
449	51,5	51,3	50,7	50,1	49,2	48,3	46,0	39,7	30,3	6,5
450	49,0	48,2	46,3	44,4	41,4	38,8	35,3	26,1	17,5	3,1
451	50,4	49,2	46,8	44,1	41,0	38,7	35,0	27,1	18,5	3,1
452	55,4	52,8	50,0	44,1	40,3	38,1	33,6	26,7	17,7	2,9
453	51,3	50,4	46,8	42,1	38,5	35,7	31,5	27,3	21,2	2,4
455	54,1	52,8	51,4	50,8	50,6	50,3	49,5	38,5	28,4	6,7
456	53,6	52,7	51,5	51,0	50,8	51,0	49,1	41,8	30,8	7,1
458	48,7	48,3	46,7	46,3	46,1	45,7	44,7	38,3	29,3	5,3
459	48,2	47,3	43,1	39,9	36,8	34,9	31,8	25,7	17,8	3,5
460	44,5	44,0	42,2	41,7	40,6	39,8	38,5	31,9	22,4	3,7
460/a	42,8	42,5	41,7	41,0	40,4	39,7	38,1	32,3	21,9	2,3
461	46,7	44,9	42,3	39,5	37,0	35,6	32,7	28,5	22,4	4,8
462	45,6	44,8	43,2	41,8	40,0	38,6	37,1	31,1	25,2	6,1
463	42,8	42,1	41,5	40,3	39,3	38,4	36,5	33,7	27,0	7,0
464	41,9	41,4	40,3	39,4	37,7	36,7	35,2	30,3	24,3	6,2
465	43,7	42,7	40,8	38,9	36,5	35,6	33,8	27,8	21,0	5,0
466	41,9	41,5	40,4	39,8	38,7	37,8	36,2	31,6	22,9	5,3
467	46,8	45,2	41,8	39,8	37,6	35,7	33,6	27,3	20,3	5,1
468	51,5	47,7	42,2	38,7	36,3	34,3	32,4	27,9	20,6	4,2
469	46,4	44,7	42,6	40,0	38,1	36,7	35,4	30,4	21,4	4,2
470	48,5	46,9	43,9	40,3	37,1	35,2	32,7	25,6	18,1	3,3
471	45,7	44,8	42,5	40,7	38,0	35,9	34,0	26,3	16,1	3,0
473	44,8	44,2	43,0	42,7	42,1	41,7	41,0	34,2	25,9	5,8
474	46,7	45,8	44,8	44,1	43,7	43,4	43,0	40,2	29,6	6,6
475	46,1	45,6	45,0	44,7	44,3	43,8	42,5	38,9	29,1	6,7
476	46,3	46,0	45,6	45,0	44,5	47,8	42,5	37,3	27,9	6,4
477	45,9	45,4	44,1	43,7	43,3	42,5	41,1	33,0	21,4	4,5
478	50,6	47,9	44,7	40,7	37,0	35,0	31,8	25,2	17,8	2,8
479	50,6	50,0	45,4	41,6	37,8	34,8	31,3	25,0	18,0	2,6
480	46,8	44,8	42,3	39,0	35,5	33,5	31,0	25,6	20,1	3,1
481	45,0	43,4	41,2	37,7	35,1	33,2	30,5	25,3	19,1	3,3
482	43,9	42,5	40,9	37,5	35,1	33,1	29,8	22,3	15,1	2,3
484	43,8	42,5	41,3	39,2	37,3	36,7	34,6	29,5	21,3	3,3
485	47,1	45,8	43,2	40,6	37,6	35,4	34,1	26,7	18,9	3,3
486	46,1	45,6	44,0	41,8	38,4	36,1	34,1	28,1	19,6	3,4
487	50,0	47,3	43,8	39,7	35,8	33,6	30,6	25,4	18,8	2,5
488	44,7	43,3	42,2	40,2	38,0	36,3	34,1	28,5	20,6	2,3
489	45,5	44,6	43,6	43,0	42,6	42,2	40,7	34,7	24,4	3,2
490	43,6	43,1	42,5	41,5	40,5	40,1	38,1	32,6	25,3	4,3
491	45,1	44,7	44,2	43,2	41,3	40,5	39,1	34,1	26,4	4,1
492	40,4	39,7	37,6	36,3	34,4	32,4	28,5	16,1	14,5	2,4
493	49,1	47,6	45,6	42,9	40,0	38,2	35,0	29,3	22,7	4,1
494	44,8	44,3	42,9	41,7	39,7	38,6	37,5	34,0	28,0	5,6
495	40,9	40,3	39,7	38,7	37,7	36,0	34,7	29,1	20,3	3,9
496	43,9	43,2	41,6	40,5	40,0	38,9	37,8	26,2	15,4	3,0
497	43,2	42,3	41,1	39,6	38,4	36,9	35,3	30,3	23,0	4,0
498	48,5	47,8	44,8	41,6	39,0	36,6	34,9	28,5	22,2	4,2
499	50,9	47,9	44,7	40,3	36,7	35,1	32,4	26,4	20,0	3,0

2. táblázat folytatása

(1) Kódszám	(2) Nedvességtartalom, térfogat %									
	pF									
	0,0	0,4	1,0	1,5	2,0	2,3	2,7	3,4	4,2	6,2
500	45,3	44,1	41,9	39,7	36,4	34,8	32,3	27,6	19,5	2,7
501	40,3	39,9	38,7	36,7	35,0	33,5	31,5	24,1	15,5	2,3
502	40,9	40,2	39,6	37,8	36,4	35,2	34,2	29,6	23,3	2,1
503	45,5	44,6	43,0	42,2	40,1	39,3	38,3	34,3	27,9	5,0
504	49,9	47,9	45,7	43,9	42,2	39,7	38,1	32,6	25,7	5,0
506	50,0	48,4	45,7	42,7	40,1	38,2	35,8	31,4	25,3	4,2
507	46,4	45,3	42,2	40,8	37,6	35,4	32,8	25,7	16,9	2,7
508	42,6	42,0	41,5	40,7	40,3	39,4	38,5	35,8	29,5	5,9
509	48,1	46,7	44,3	42,6	40,4	39,1	37,2	33,6	25,8	5,5
510	50,0	48,2	44,4	39,8	37,1	35,8	34,8	31,0	25,9	5,7
511	44,8	42,6	40,7	37,7	35,6	34,3	32,0	27,3	21,2	4,8
512	46,0	45,0	42,7	40,3	37,5	36,2	34,2	28,9	22,2	4,5
513	42,1	41,7	40,8	39,6	38,1	36,9	35,5	31,3	22,4	4,5
514	52,5	51,8	50,9	50,3	48,8	47,1	43,3	33,3	23,0	4,3
515	45,8	45,2	44,3	43,3	41,9	40,8	38,3	26,4	17,4	3,4
516	47,4	47,3	45,7	44,5	42,5	40,0	37,1	27,4	16,9	3,0
517	51,6	51,0	49,1	47,7	45,9	43,5	40,9	33,5	25,8	6,4
518	48,6	47,4	45,3	45,0	43,3	42,2	41,1	37,4	29,8	6,9
519	50,2	48,3	47,6	44,9	44,3	43,3	42,5	39,1	32,9	7,3
520	49,6	49,0	48,1	46,2	44,8	44,9	42,6	39,2	32,3	8,2
522	45,8	45,1	44,8	43,6	42,7	42,0	40,7	36,2	30,0	6,7
523	57,2	55,6	51,7	47,6	45,4	44,1	43,0	38,5	27,9	7,8
524	57,0	56,5	55,5	54,7	53,7	52,5	51,3	42,3	30,2	8,0
527	53,8	53,4	53,1	52,9	52,7	52,5	51,2	47,3	35,4	9,4
528	50,6	50,3	50,1	49,6	49,2	49,0	48,5	47,5	34,5	8,5
571	45,2	45,0	44,4	42,6	40,8	39,1	35,4	25,7	17,9	2,6
572	46,2	45,0	44,4	42,2	39,5	37,0	34,3	25,2	16,8	2,6
573	48,6	47,8	47,0	45,0	43,4	41,8	38,6	27,4	18,3	1,9
575	55,6	52,0	47,9	40,9	33,2	28,2	23,3	16,3	11,1	1,7
576	43,2	41,7	40,0	38,2	35,9	34,0	30,4	23,1	15,6	2,3
577	50,8	49,6	47,8	44,4	39,6	35,9	29,9	20,3	11,8	1,4
578	50,9	50,1	48,3	45,0	38,7	33,4	24,7	15,3	7,5	1,2
579	48,5	46,8	44,3	41,1	35,8	34,5	29,5	20,5	12,4	2,2
580	44,9	43,0	41,7	39,1	35,7	33,5	30,5	21,1	13,0	1,0
581	46,0	44,9	43,2	41,3	38,2	35,7	31,6	24,0	14,4	1,4
582	45,1	44,7	43,1	40,2	36,3	34,1	29,9	19,6	9,1	1,2
583	42,0	40,4	38,6	36,8	34,2	31,9	28,4	18,0	10,5	2,0
584	45,3	44,2	42,4	40,5	38,2	36,0	32,1	23,2	15,6	1,5
585	47,6	46,3	44,5	42,5	39,2	34,7	29,9	20,9	11,6	1,1
586	42,1	40,7	38,6	36,2	32,2	28,2	24,1	15,4	7,8	0,7
587	48,3	46,8	43,5	39,2	35,3	32,1	27,9	20,1	11,6	2,3
588	49,8	47,4	44,9	40,8	37,0	33,1	28,5	20,4	11,9	2,3
589	59,5	58,3	56,0	51,7	42,6	35,4	28,9	20,1	12,2	2,4
590	51,2	50,1	47,1	42,9	38,9	32,0	26,5	15,8	7,6	1,1
591	42,2	41,0	39,2	37,6	35,6	33,8	31,5	24,4	14,5	2,7
592	53,1	51,3	47,4	42,8	37,3	32,8	28,6	21,7	15,7	1,9
593	47,2	46,6	43,6	41,3	37,4	31,8	25,4	15,8	10,4	1,1
594	47,5	46,5	43,9	41,4	37,5	32,4	23,3	12,6	8,3	1,1
595	42,6	41,9	40,0	37,5	23,3	6,3	5,3	2,4	2,3	0,4
596	43,8	42,9	40,6	38,5	32,5	14,8	11,8	6,8	4,5	0,7
597	41,9	40,9	39,6	38,7	37,6	36,8	35,1	31,2	24,5	4,2
598	45,9	45,0	42,3	40,5	38,6	37,3	35,3	28,6	21,5	4,1
599	43,9	43,4	41,3	40,5	39,3	38,4	37,4	34,8	24,0	2,9
613	43,7	42,5	40,4	37,4	30,0	23,5	13,5	10,0	6,8	1,3

2. táblázat folytatása

(1) Kódszám	(2) Nedvességtartalom, térfogat %									
	pF									
	0,0	0,4	1,0	1,5	2,0	2,3	2,7	3,4	4,2	6,2
614	41,7	41,2	40,6	39,0	35,5	30,4	23,3	13,6	9,8	1,3
615	43,7	42,9	41,3	38,9	34,0	30,8	25,4	16,3	11,1	1,4
616	46,6	46,4	44,9	40,7	33,5	28,4	21,0	12,6	8,5	1,2
617	50,4	49,2	47,1	44,3	37,7	34,2	27,2	19,7	11,8	1,1
618	49,0	47,0	44,6	41,5	37,2	31,6	21,5	12,1	8,9	1,0
619	56,2	51,7	45,4	38,9	34,5	30,2	25,3	16,9	12,5	2,0
620	40,8	40,3	39,0	37,6	34,9	33,8	29,7	22,2	15,2	2,6
621	49,8	47,6	44,1	40,9	37,1	33,9	30,4	22,8	15,6	1,9
622	45,6	45,0	42,4	39,9	38,1	36,4	33,6	27,3	14,2	1,2
623	45,6	43,8	41,5	39,1	35,9	32,5	26,3	17,0	8,0	0,7
624	44,2	43,4	41,1	37,9	35,4	33,6	31,7	25,0	15,4	3,0
625	45,4	44,3	42,3	39,1	35,8	33,1	29,7	23,6	14,2	2,9
626	50,6	47,1	41,9	38,0	33,4	31,6	27,4	24,2	13,8	2,4
627	50,4	47,6	43,9	38,0	34,5	32,6	28,6	23,5	13,8	2,2
628	47,3	46,4	42,5	38,7	33,9	30,1	26,3	19,4	12,4	1,6
629	52,0	47,1	38,4	33,4	30,3	28,6	27,0	23,2	14,5	3,1
630	44,6	43,5	41,3	39,2	37,3	35,9	34,4	28,0	18,4	3,3
631	48,1	46,1	43,4	41,5	39,3	37,9	36,4	32,2	18,1	2,2
632	44,2	43,1	41,3	39,3	37,1	35,3	33,5	25,2	13,9	1,7
633	45,9	43,6	40,0	36,3	31,6	30,1	23,9	15,1	7,5	1,3
634	43,3	42,2	40,3	38,3	35,6	33,4	30,0	22,2	15,2	3,0
635	53,2	51,7	48,0	44,9	38,7	35,8	30,4	24,4	15,4	2,2
636	52,9	52,6	51,1	47,4	38,8	33,4	28,0	19,5	12,7	1,8
637	52,8	52,3	50,8	48,1	37,6	28,1	20,4	14,0	9,2	1,4
638	36,2	35,8	35,0	33,5	30,6	28,7	25,0	19,7	12,8	2,4
639	36,4	35,0	33,9	32,6	31,2	29,4	26,0	19,8	12,8	2,4
640	47,4	45,7	42,7	39,3	34,2	29,5	24,9	18,2	12,2	2,3
641	54,0	51,9	50,0	49,4	47,9	46,9	45,3	31,7	17,4	5,2
642	51,7	50,6	49,4	47,7	46,3	45,0	43,2	32,9	23,0	5,5
643	52,1	51,5	50,6	50,0	48,9	48,0	46,1	33,9	25,2	5,9
644	43,2	42,8	41,6	39,6	37,6	36,2	35,3	29,5	20,5	3,7
645	43,9	43,7	43,2	42,7	41,1	40,4	39,3	37,2	33,3	5,4
646	43,2	42,9	41,1	40,1	39,6	39,0	37,4	34,1	26,8	2,8

nak) a mechanikai összetételben és a pF-görbében kifejeződő tulajdonságai külön-külön és kölcsönhatásukban is tanulmányozhatók legyenek.

Jelen munkánk során nem vizsgáltuk a szervesanyag-tartalom (elbomlottság foka, humusztartalom, humuszminőség), a mészállapot (karbonáttartalom, megjelenés formája, eloszlás finomsága), valamint a talajszerkezet-stabilitás (vízzel és művelő eszközökkel szembeni ellenállás) hatását a pF-görbékre, bár azok (egyes esetekben fontos, sőt esetleg meghatározó) jelentőségét természetesen nem tagadjuk. A talajszerkezet állapotára (aggregáltság mértéke, mikro- és makroaggregátumok mérete, térbeli elrendeződése stb.) — ebben a közelítésben — a térfogattömeg és éppen maga a pF-görbe jó tájékoztatást nyújt.

A három figyelembe vett talajtulajdonság (a talajok különböző szívóerőknél mért nedvességtartalma: a pF-görbe egyes mért pontjai; a mechanikai összetétel különböző méretű szemcsefrakciói; a talaj térfogattömege) közti kapcsolatrendszer vizsgálatára a következő összefüggés-vizsgálatokat végeztük el: kétváltozós regresszió, többszörös regresszió, fokozatos regresszió (stepwise regression) és egyidejű diszperzióanalízis.

A fokozatos regresszió során először egy ún. X_1 paramétert számítottunk ki, amely a mechanikai összetétel és a térfogattömeg nedvességtartalommal való összefüggésének szorosságát adja meg pF-értékenként. Ezután az ún. X_2 paramétert számoltuk, amely az X_1 értékkel együtt a korrelációs együttható maximális növekedését adja. A számítási eljárás szerint az eddig figyelembe nem vett frakciók hatását egy további ún. X_3 paraméter tartalmazza, amely r maximális növekedését adja X_1 és X_2 együttes hatásának kimutatásával. Ez az eljárás addig folytatódik, míg a változók, jelen esetben a szemcsefrakciók és a térfogattömeg-érték, nem rendeződnek a hatásukat kifejező korrelációs együtthatók csökkenő sorrendjében. Az elemzés során adatokat kaptunk az egyes szívóerőknél (pF-értékeknél) mért nedvességtartalom-értékek összefüggéséről és arról, hogy egy-egy pF-értéknél mért nedvességtartalom a mechanikai összetétel mely szemcsefrakciójával, vagy szemcsefrakcióival van legszorosabb összefüggésben. Az elemzés lehetőséget adott a térfogattömeg és a pF-görbe pontjai közötti kapcsolatok vizsgálatára is.

A regressziós diszperziós vizsgálatokhoz a következő többszörös regressziós egyenletet alkalmaztuk:

$$\Theta = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1X_2 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 \quad (1)$$

ahol Θ = nedvességtartalom térfogatszázalékban

$b_0 - b_5$ = regressziós egyenlet együtthatói

X_1 = a korrelációs koeficiens maximális növekedését adó első tényező

X_2 = a korrelációs koeficiens maximális növekedését adó második tényező.

A diszperziós analízis segítségével azok a tényezők küszöbölhetők ki, amelyek csak jelentéktelen változást okoznak a mért és a számított nedvességtartalom-értékek között.

A számításokat a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, valamint a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Agrokémiai és Talajtani Intézete közötti együttműködés keretében végeztük részben Budapesten, részben Puscsinóban [26, 42].

Vizsgálati eredmények és értékelésük

A vizsgált talajok különböző pF-értékeknél mért nedvességtartalma, valamint a mechanikai összetétel különböző frakciói és a térfogattömeg között számított páros korrelációs együtthatókat a 3. táblázat tartalmazza. A tapasztalt összefüggésekről és azok szorosságáról az 1. és 2. ábrák (a—c) tájékoztatnak.

A diszperziós analízis során számított (1) egyenlet számítógépes illesztésével nyert paramétereket a 4. táblázat, az illesztés abszolút és relatív hibájának nagyságát az 5. táblázat tartalmazza. A számított és mért értékek viszonyát az 1. és 2. ábrák (d—f) szemléltetik.

Három különböző mechanikai összetételű talaj mért és számított pF-görbéjét a 3. ábrán mutatjuk be.

A vizsgált talajok különböző pF-értékeknél mért nedvességtartalma és a különböző szemcsefrakciók, valamint a térfogattömeg korrelációs együtthatóinak (3. táblázat) tanulmányozásakor szembetűnő az alacsony tenziótartományban ($pF \leq 2$) a nedvességtartalmak közötti szoros összefüggés, amely a pF-érték emelkedésével fokozatosan és egy állandó szintre csökken.

3. táblázat

A pF-értékek, a mechanikai összetétel frakciók és a térfogattömeg páros korrelációs együtthatóinak értékei

(1) Meg- nevezés	(2) Nedvességtartalom, térfogat %							(3) Mechanikai összetétel frakciók, % (szemcseméret, mm)						(4) Térfogat- tömeg, g/cm ³		
	pF							1.	2.	3.	4.	5.	6.			
	0,4	1,0	1,5	2,0	2,3	2,7	3,4								4,2	6,2
pF	0,0	0,98	0,89	0,74	0,53	0,44	0,39	0,35	0,33	0,36						
	0,4	1,00	0,95	0,83	0,59	0,49	0,43	0,39	0,37	0,41						
	1,0		1,00	0,95	0,70	0,59	0,53	0,48	0,46	0,50						
	1,5			1,00	0,80	0,70	0,66	0,60	0,59	0,61						
	2,0				1,00	0,96	0,93	0,85	0,79	0,71						
	2,3					1,00	0,98	0,91	0,85	0,74						
	2,7						1,00	0,96	0,90	0,79						
	3,4							1,00	0,97	0,84						
	4,2								1,00	0,89						
	6,2									1,00						
1.	0,25-0,05															
2.	0,05-0,02															
3.	0,02-0,01															
4.	0,01-0,005															
5.	0,005-0,002															
6.	<0,002															
7. Térfogattömeg, g/cm ³																

0,25- 0,05 1.	0,05- 0,02 2.	0,02- 0,01 3.	0,01- 0,005 4.	0,005- 0,002 5.	<0,002 6.	7.
-0,48	0,25	0,32	0,27	0,31	0,40	-0,80
-0,48	0,21	0,29	0,28	0,32	0,44	-0,83
-0,50	0,16	0,25	0,30	0,34	0,51	-0,73
-0,53	0,06	0,24	0,36	0,40	0,60	-0,58
-0,79	0,22	0,48	0,57	0,60	0,76	-0,38
-0,85	0,23	0,54	0,63	0,65	0,81	-0,30
-0,84	0,14	0,53	0,65	0,68	0,85	-0,26
-0,83	0,05	0,51	0,66	0,69	0,91	-0,24
-0,80	-0,03	0,46	0,66	0,66	0,93	-0,22
-0,64	-0,20	0,29	0,57	0,55	0,89	-0,23
1,00	-0,47	-0,76	-	-	-0,73	0,33
	1,00	0,51	0,12	0,07	-0,12	-0,13
		1,00	0,52	0,53	0,36	-0,26
			1,00	0,61	0,63	-0,15
				1,00	0,65	-0,25
					1,00	-0,29
						1,00

1. - 6.: Mechanikai összetétel frakciók (szemcseméret, mm)

1. - 6.: Mechanikai összetétel frakciók (szemcseméret, mm)

4. táblázat

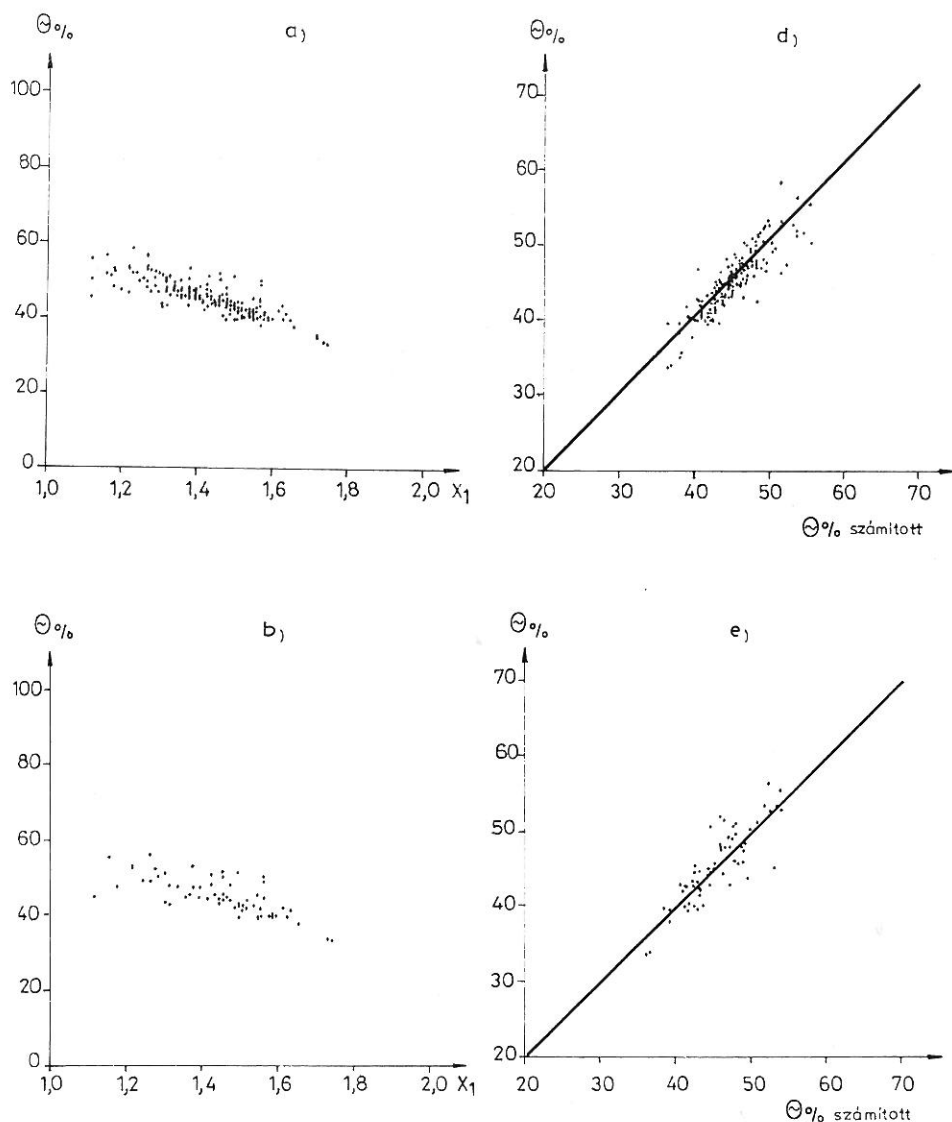
A pF-értékek, a mechanikai összetétel és a térfogattömeg regresszió-analízisének eredményei

(1) Talaj- minta	(2) pF- értékek	(3) A korrelá- ciós koef- ficiens maxi- mális növeke- dését adó vál- tozók (ténye- zők)		(4) A korrelációs koefficiensek értékei		(5) A regressziós egyenlet együtthatói					
		X ₁	X ₂	X ₁	X ₁ X ₂	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
A) Összes mintára	0,0	7.	1.	0,92	0,94	91,59	-31,0	—	2,2	—	—
	0,4	7.	1.	0,88	0,90	65,86	—	—	2,2	-9,6	—
	1,0	7.	6.	0,78	0,84	57,85	—	—	—	-7,9	15,6
	1,5	6.	7.	0,60	0,78	50,57	—	—	—	23,5	-5,8
	2,0	1.	6.	0,79	0,83	32,23	37,8	—	-61,1	-51,2	47,1
	2,3	1.	6.	0,85	0,88	18,53	58,2	48,8	-36,7	-69,2	—
	2,7	6.	1.	0,85	0,90	18,99	44,3	15,3	—	—	30,9
	3,4	6.	1.	0,91	0,93	12,69	49,1	—	—	—	12,4
	4,2	6.	3.	0,93	0,94	2,28	44,7	24,4	—	—	—
	6,2	6.	2.	0,89	0,89	0,21	6,8	—	—	9,7	—
B) Réti talajokra	0,0	7.	6.	0,73	0,83	58,33	—	—	—	-7,2	19,7
	0,4	7.	6.	0,72	0,83	56,95	—	—	—	-6,9	19,9
	1,0	7.	6.	0,84	0,85	53,98	—	—	—	-6,5	23,0
	1,5	6.	7.	0,71	0,83	49,58	—	—	—	28,6	-5,61
	2,0	6.	7.	0,84	0,86	37,87	32,4	—	—	—	-4,67
	2,3	6.	1.	0,86	0,89	50,95	-71,4	—	—	110,0	-38,3
	2,7	1.	6.	0,88	0,92	28,49	-18,4	29,2	—	—	—
	3,4	6.	1.	0,92	0,94	17,24	38,9	—	—	—	-17,9
	4,2	6.	1.	0,92	0,94	12,65	31,9	-12,8	—	—	—
	6,2	6.	2.	0,88	0,89	1,23	—	—	—	19,0	—
C) Csarnozomokra	0,0	7.	2.	0,92	0,93	92,30	-32,7	—	—	—	13,5
	0,4	7.	2.	0,85	0,88	64,28	—	—	—	-9,8	13,6
	1,0	7.	2.	0,69	0,71	57,61	—	—	—	-7,2	—
	1,5	7.	1.	0,47	0,55	38,76	126,5	—	—	-49,5	—
	2,0	1.	2.	0,40	0,45	38,94	—	—	—	-22,4	—
	2,3	6.	3.	0,59	0,61	27,91	27,7	—	—	—	—
	2,7	6.	5.	0,70	0,72	19,76	45,4	—	—	—	—
	3,4	6.	7.	0,83	0,81	8,66	61,0	—	—	—	—
	4,2	6.	7.	0,90	0,90	1,58	57,5	—	—	—	—
	6,2	6.	7.	0,79	0,80	0,42	11,9	—	—	—	—

A korrelációs együtthatók alapján két pF-görbeszakasz különíthető el ($pF \leq 2$; $pF > 2$), amelyeken belül szoros az összefüggés, de amelyek között gyenge a kapcsolat. A tapasztalt korrelációk azzal a fizikai ténnyel hozhatók összefüggésbe, hogy $pF \leq 2$ érték alatt a talaj pórusterében levő nedvességre elsősorban a gravitációs és kapilláris erők hatnak. A $pF > 2$ feletti tenziótartományban azonban egyre inkább a szorpciós erők hatása kerül előtérbe.

A különböző pF-értékhez tartozó nedvességtartalmak és valamelyik szemcsefrakció között minden esetben van szignifikáns összefüggés (3. táblázat).

Különösen szoros az összefüggés ($r > 0,8$) az 1-es (0,25–0,05 mm), és a 6-os ($< 0,002$ mm) szemcsefrakcióra a magasabb tenziótartományban ($pF \geq 2,3$). Az alacsony tenziótartományban ($pF \leq 2$) a nedvességtartalmakkal egyedül az 1-es, 0,25–0,05 mm-es finom homokfrakció korrelál. Érdekes megfigyelni, hogy ez a szemcsefrakció minden nedvességértékkel korrelál, de a korreláció előjele ellenkezője a finomabb szemcsefrakciókéknak, vagyis ha nő az azonos pF-



1. Összefüggés a pF 0,4-nél mért nedvességtartalom (y tengely, tf %) és az azzal legszorosabban (x tengely) nedvességtartalom (tf %) viszonya (d, e, f). X_1 = térfogattömeg, g/cm³;

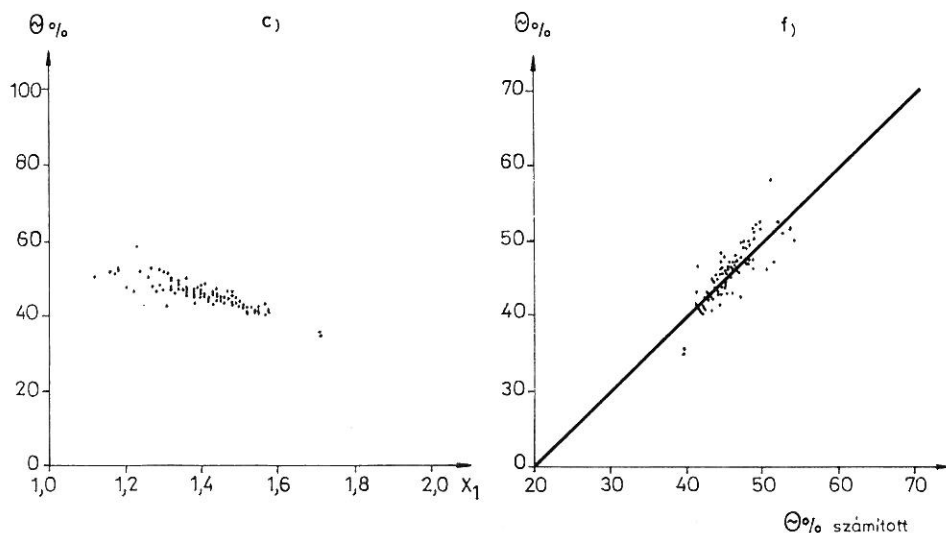
5. táblázat

Az (1) egyenlettel számított és a mért, térfogatszázalékban kifejezett értékek közti eltérések abszolút (a) és relatív (b) hibája, %-ban

(1) pF értékek	(2) Összes minta		(3) Réti talajok		(4) Csernozjomok	
	a	b	a	b	a	b
0,0	1,54	3,3	2,61	5,7	1,44	3,1
0,4	1,78	3,9	2,50	5,5	1,67	3,7
1,0	2,12	4,9	2,43	5,6	2,20	5,1
1,5	2,57	6,3	2,72	6,5	2,48	4,1
2,0	3,41	9,2	3,77	9,6	2,83	7,5
2,3	3,56	10,3	3,95	10,6	3,07	8,7
2,7	3,89	12,3	4,18	12,0	3,71	11,7
3,4	3,41	13,7	3,53	12,5	3,28	13,3
4,2	2,74	15,8	3,06	15,0	2,29	13,7
6,2	0,88	28,5	1,17	28,5	0,73	26,9

értéknél mért nedvességtartalom, csökken a finom homok mennyisége és fordítva. A negatív korrelációt fizikailag a durva szemcsefrakció kis adszorptív felülete indokolja.

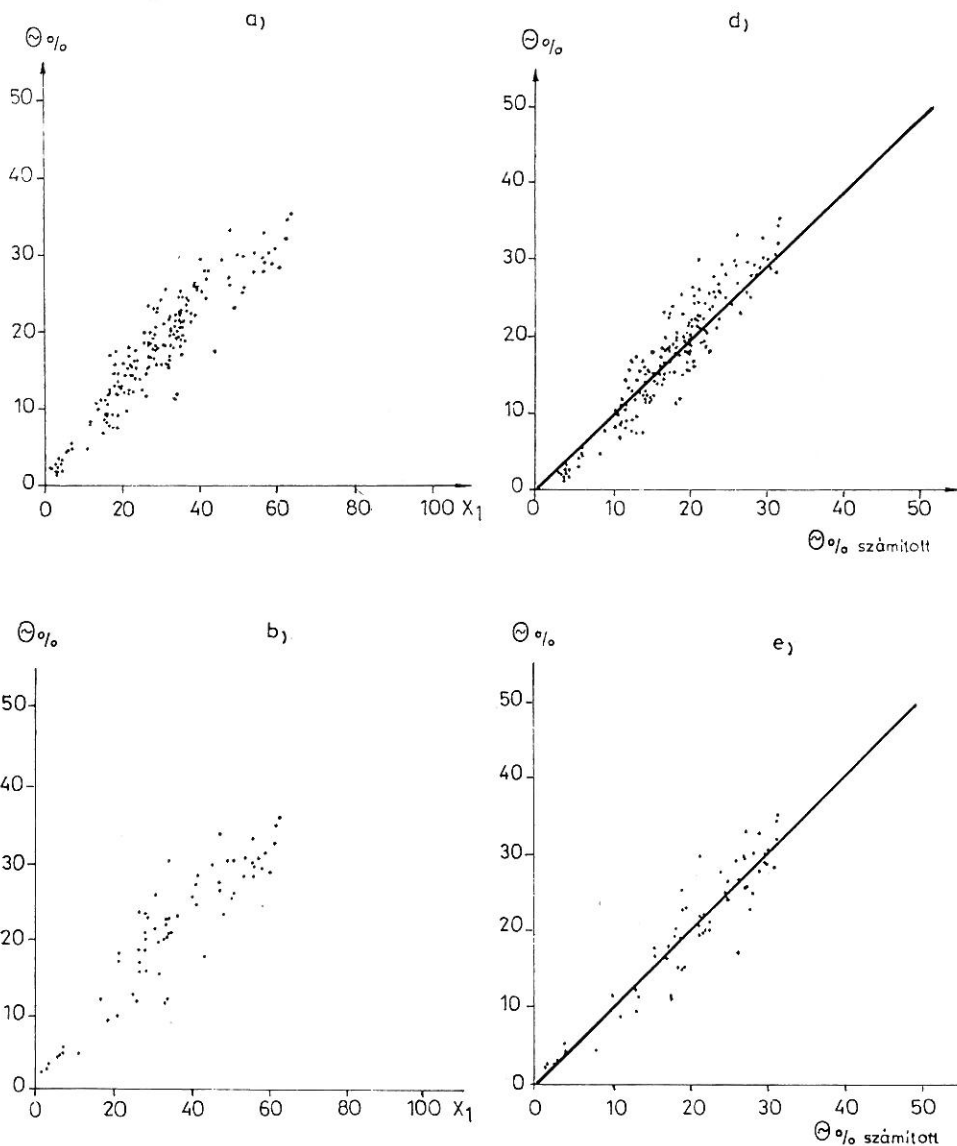
A 3. és 4. táblázatban közölt korrelációs együtthatók értékeiből, sorrendjéből kitűnik, hogy az alacsony tenziótartományban ($pF \leq 1$) a talajt felépítő szemcsék, mikro- és makroaggregátumok, valamint nagyobb szerkezeti elemek illeszkedésének szorossága (a talaj porozitása) a meghatározó — amelynek



ábra

sabban korreláló X_1 változó (x tengely) között (a, b, c). A mért (y tengely) és a számított a) és d) = összes mintára; b) és e) = réti talajokra; c) és f) = csernozjomokra

a térfogattömeg (7-es sz. tényező), jó kifejezője — s az elemi szemcsék méret szerinti megoszlásának hatása csupán másodlagos. Az, hogy a térfogattömeg után általában az 1-es szemcsefrakció (0,25–0,05 mm) a korrelációs koefficiens maximális növekedését okozó második tényező, arra utal, hogy a gravitációs pórustér nagyságát — az aggregátumok mellett — leginkább ezt a szemcsefrakciót képező — viszonylag nagy méretű — részecskék mennyisége szabja meg.

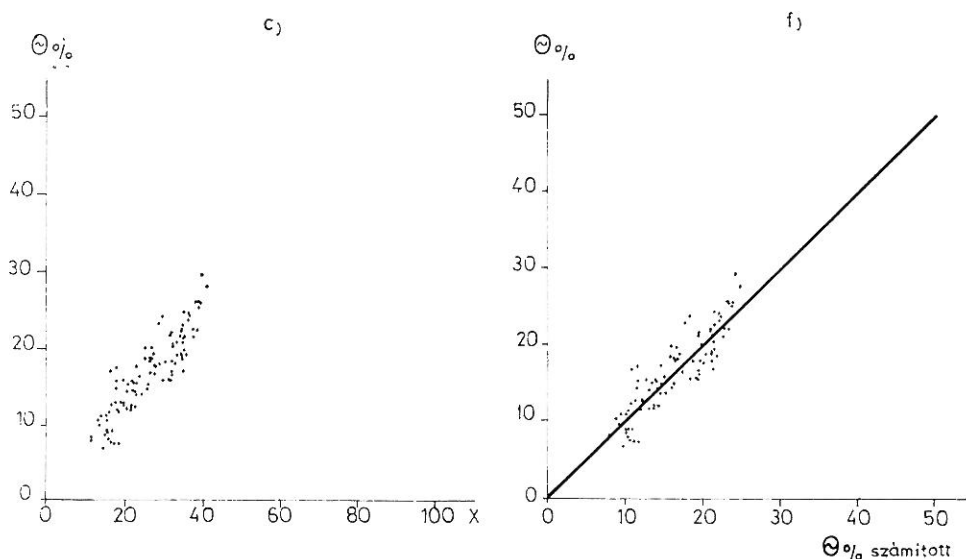


2. Összefüggés a pF 4,2-nél mért nedvességtartalom (y tengely, tf %) és az azzal legszorosabban (x tengely) nedvességtartalom (tf %) viszonya (d, e, f). $X_1 = a < 0,002$ mm-es frakció

A nehezebb mechanikai összetételű réti talajok esetében a térfogattömeg után már ebben az alacsony tenziótartományban ($pF \leq 1$) is a 6-os ($< 0,002$ mm) frakció hatása jut érvényre, míg a többnyire vályog mechanikai összetételű csernozjomok esetében ez a szerep a 2-es frakcióé (0,05–0,02 mm) (4. táblázat).

A 4. táblázat X_1 , X_2 tényezőit tanulmányozva az állapítható meg, hogy a pF -görbe általában — a különböző pF -értékeknél mért nedvességtartalmak egymás közti korrelációját finomítva — nem két, hanem három szakaszra bontható. A $pF \leq 1$ szakaszban a meghatározó tényező a talaj térfogattömege, a pF 1,5– pF 2,3 szakaszban a kapilláris-gravitációs pórusteret elsősorban kialakító szemcsefrakció (finom homok), míg a $pF > 2,3$ szakaszban a nagy adszorptív felülettel bíró finom szemcsefrakció (agyag). Ez az alapképlet talajtípusonként (réti talajok, csernozjomok), de főként a szemcseösszetételtől függően — különösen a pF -görbe középső szakaszán — változó. Réti talajok esetében a pF -görbe középső, csernozjomok esetében pedig felső szakaszának nedvességértékeivel a második leginkább korreláló tényező a térfogattömeg. Ennek magyarázata az lehet, hogy a talajt felépítő szerkezeti elemek illeszkedésének szorossága még az adszorptív felület nagyságát is jelentős mértékben befolyásolhatja. Meg kell jegyezni, hogy a térfogattömeg magas tenziótartományban kimutatott befolyásoló szerepe esetében fennáll bizonyos mérési hiba lehetősége is, ugyanis a jelenlegi pF -görbe meghatározási módszer az egész tenziótartományban konstans térfogattömeg-értékekkel számol. A kérdés vizsgálatára jelenleg folynak kutatásaink.

Az elemzésből az is kiderül, hogy a pF -görbe és a mechanikai összetétel közötti összefüggések vizsgálatakor elégséges csupán egyetlen szemcsefrakció figyelembe vétele — természetesen azé, amelyik adott esetben a leginkább kor-



ábra

sabban korreláló X_1 változó (x tengely) között (a, b, c). A mért (y tengely) és a számított mennyisége, %; a és d = összes mintára; b és e = réti talajokra; c és f = csernozjomokra

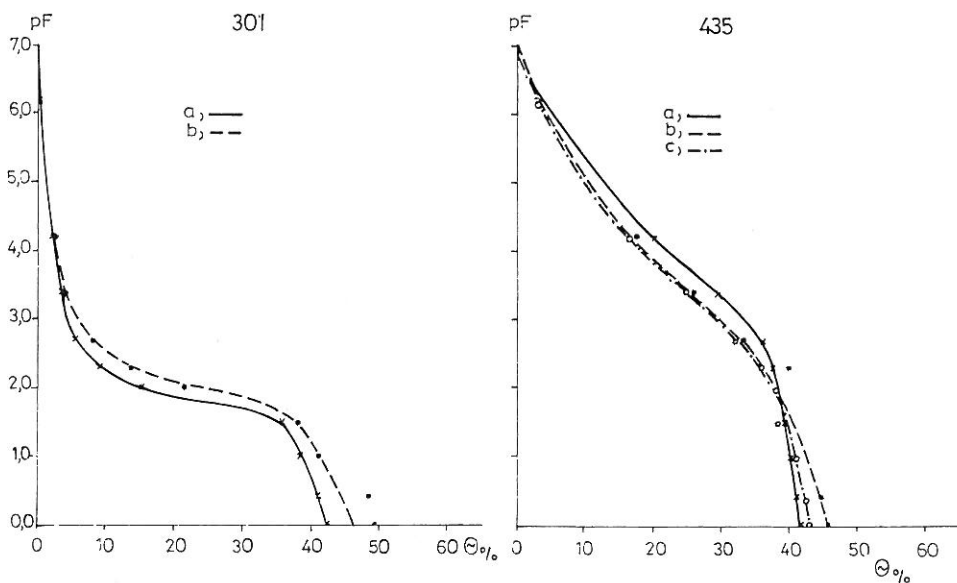
relál —, mert X_1 és X_2 együttes figyelembe vétele csak kismértékben növelte a korrelációs együttható értékét, míg további szemcsefrakció bevonása az elemzésbe gyakorlatilag nem befolyásolta azt. A diszperziós analízis ezt úgy igazolta, hogy az adott valószínűségi szinten nem okozott jelentős csökkenést a megközelítés diszperziós hibájában (5. táblázat), ha az (1)-es regressziós egyenletbe eltérő szemcsefrakciók értékeit helyettesítettük be.

Talajtípusokra vonatkozóan — esetünkben ez inkább mechanikai összetétel csoportokat jelent — megállapítható, hogy réti talajokra a talaj pF-görbéje és mechanikai összetétele közötti korreláció szorosabb, mint csernozjomok esetében. A pF-görbe alsó szakaszának alakulása ($pF \leq 1$) csernozjomok (könnyebb mechanikai összetételű talajok) esetében erősebben térfogattömeg-függő, mint réti talajok esetében.

Az (1)-es egyenlettel elvégzett regressziós analízisek eredményeként az egyenlet számítógépes illesztésével nyert és a 4. táblázatban megadott b_0 – b_5 együtthatók felhasználásával lehetőség van a Magyar Alföld réti és csernozjom talajainál a pF-görbe egyes pontjainak közelítő számítására a talaj térfogattömege és mechanikai összetétele alapján. A 3. ábrán egy homok és egy vályog mechanikai összetételű talaj mért, illetve módszerünkkel számított pF-görbéjét mutatjuk be.

Az elvégzett diszperziós analízis kiküszöbölte azokat a tényezőket, amelyek jelentéktelen változást okoztak a mért és a számított nedvességértékek között. Szemléltetésül az 1. és 2. ábra (d–f) részein bemutatjuk néhány talajminta számított és mért nedvességértékeit.

Az 5. táblázatban az illesztett regressziós egyenlet abszolút és relatív hibáját tüntettük fel. Az adatokból kitűnik, hogy az abszolút hiba nagysága az



3. ábra

Egy homok (301) és egy vályog (435) mechanikai összetételű talaj mért és a regressziós egyenletekből számított pF-görbéje. a) mért; b) összes minta alapján számított; c) csernozjomok alapján számított pF-görbe

összes mintára sem haladja meg a 3—4%-ot, sőt némileg csökken pF 4,2; pF 6,2 értékeknél. Az abszolút hiba értéke valamennyi vizsgált minta esetében kisebb volt mint 4,2%.

A számított értékekre kapott relatív hibák nagysága pF 4,2 értékig kisebb mint 15%.

A közelítés pontosságát újabb tényezőknek az összefüggés-vizsgálatokba történő bevonásával kívánjuk a jövőben tovább növelni, az elemzéseket pedig újabb nagyszámú mintaanyagra terjesztjük ki.

Alkalmazási lehetőségek

Vizsgálataink tanúsága szerint kidolgozott és jelen közleményben bemutatott eljárásunk már jelenlegi formájában is lehetővé teszi, hogy a Magyar Alföld nagyrészét borító és mezőgazdasági szempontból is legfontosabb csernozjom és réti talajokon a talaj térfogattömegének és mechanikai összetételének meghatározása alapján jó közelítéssel számítsuk a mezőgazdasági vízgazdálkodási beavatkozások (és a meliorációs és agrotechnikai tevékenység) tervezéséhez sokoldalú információt szolgáltató pF-görbéket, vagy azok egyes jellemző pontjait, szakaszait (szabadföldi vízkapacitás, holtvíz-tartalom, hasznosítható vízkészlet, adott nedvességtartalomnál vízzel vagy levegővel telt pórusok aránya stb.). Ez a lehetőség igen nagy segítséget nyújthat egy-egy adott talajréteg, talajszelvény, elhatárolt talajfolt, természetföldrajzi, gazdálkodási vagy adminisztratív terület egység vízgazdálkodási tulajdonságainak, vízház-tartásának jellemzéséhez, nagymértékben megkönnyíti a mért adatok területre vonatkoztatását, elhatárolását, gyorsítja, pontosítja és olcsóbbá teszi az ez-irányú részletes térképezést, a mért adatokra alapozott szaktanácsadást [34].

Nagy jelentőségű a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságaiban természeti okok vagy mesterséges beavatkozások eredményeképpen bekövetkező változásokat regisztráló monitoring-rendszer, valamint a valószínűsíthető változásokat előrejelző prognózisrendszer kialakításánál is. Mivel ugyanis a talaj mechanikai összetétele egy konstans (és gyakorlatilag nem befolyásolható) talajtulajdonság, a számítási eljárás — a térfogattömeg mérése alapján — lehetőséget ad a pF-görbék (pF-görbe pontjai) szinte folyamatos meghatározására, időbeni változásának nyomonkövetésére, rendszeresen biztosítva az azokból levonható, s a korszerű nedvességszabályozáshoz ma már nélkülözhetetlen információkat.

Összefoglalás

A korszerű mezőgazdasági vízgazdálkodás és ezen belül a korszerű talaj-nedvesség-szabályozás megvalósítása érdekében mind szélesebb körben válik szükségessé a talajok vízgazdálkodási tulajdonságait tükröző pF-görbék ismerete. A pF-görbék közvetlen mérése, az egyszerű talajtani-talajfizikai rutin-vizsgálatokhoz képest, idő- és költségigényes.

Főként a Magyar Alföldről származó reprezentatív mintaanyag feldolgozásával számítási eljárást dolgoztunk ki a pF-görbéknek a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege ismeretében történő meghatározására. A talaj mechanikai összetételének, térfogattömegének és pF-görbéjének egyidejű mérése

szolgált a három talajfizikai paraméter közti kapcsolatok elemzésére és a viszonylag nagyszámú mintanyag alapján az azt közelítő egyenletek megbízható számítására (3. táblázat).

A talajok pF-görbéjének egyes pontjai közti összefüggések, továbbá e pontok valamint az egyes szemcsefrakciók mennyisége és a talaj térfogattömeg közti kapcsolatrendszer vizsgálatára a kétváltozós, a többszörös és a fokozatos regresszió módszerét és egyidejű diszperzióanalízist alkalmaztunk. Az elemzés során adatokat kaptunk az egyes pF-értékeknél mért nedvességtartalom-értékek összefüggéséről, és arról, hogy egy-egy pF-értéknél mért nedvességtartalom melyik szemcsefrakcióval(-kkal) van a legszorosabb összefüggésben. Az elemzés lehetőséget adott a térfogattömeg és a pF-görbe pontjai közti kapcsolatok vizsgálatára is.

A korrelációs együtthatók alapján két pF-görbeszakasz különíthető el ($pF \leq 2$, $pF > 2$), amelyeken belül szoros, de amelyek közt gyenge az összefüggés. Az alacsony tenziótartományban ($pF \leq 1$) (pF-görbe alsó szakasza) a nedvességtartalom-értékek a talaj térfogattömegével mutatják a legszorosabb összefüggést, $pF > 1$ – $pF \leq 2,3$ tartományban általában a 0,25–0,05 mm-es szemcsefrakció a meghatározó (finom homok), míg $pF > 2,3$ tartományban az agyagfrakció ($< 0,002$ mm).

Az (1)-es regressziós egyenlet illesztésével nyert együtthatók (4. táblázat) alapján a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege ismeretében az egyes pF-görbe pontok számíthatók. A számítás pontossága a vizsgált mintanyagra abszolút értékben 3–4%, relatív értékben pedig a $pF < 4,2$ tartományban $< 15\%$.

A pF-görbék számítása jelentős segítséget nyújt azok területre vonatkoztatásához, egy terület talajfizikai, talaj-vízgazdálkodási, vízháztartási jellemzéséhez. Gyorsítja, pontosítja és olcsóbbá teszi az ez irányú részletes térképezést, a mért adatokra alapozott szaktanácsadást a korszerű talajnedvesség-szabályozás, mezőgazdasági vízgazdálkodás és melioráció területén. Felhasználható a pF-görbék által kifejezett talajvízháztartási változásokat regisztráló monitoring-rendszer és azokat előrejelző prognózis-rendszer kialakításánál is.

Irodalom

- [1] BALAN, S.: Cercetari asupra relatiilor umiditatesuctiune la unele soluri din Cimpia Tisei. An. Inst. St. Cerc. Pedol. **41**. 31–43. 1974.
- [2] BEKIEV, K.: Vlijanie plotnoszti na vodouderzsivajuscuju szposzobnoszt' pocsv Prikopetdagszkoj zonü. In: „Voproszö vodnogo hozjajsztva v Türkménisztane” Ashabad. Ülm. 15–22. 1973.
- [3] BLOEMEN, G. W.: Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Z. PflErnähr. Bodenk. **143**. 581–605. 1980.
- [4] BLOEMEN, G. W.: Calculation of steady-state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. Z. PflErnähr. Bodenk. **143**. 701–719. 1980.
- [5] BOELS, D. et al.: Theory and system of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities. Soil Sci. **126**. 191–199. 1978.
- [6] CANARACHE, A.: Correlations between field capacity and clay content: a generalized semi-empirical equation. Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci. Adelaide. Vol III. 609–617. 1968.
- [7] CANARACHE, A.: New maps of the soil moisture properties in Southern Romania. Geol. Inst. Techn. Econ. Bull. Ser. C. No. 18. 181–191. 1970.
- [8] DUMITRIU, R. & CANARACHE, A.: Procedue de determinare a umiditatii solului intre pF 1 si 2 relatiile acesteia cu greutatea volumetrica si continutul de argila din sol. An. Inst. St. Cerc. Pedol. **38**. 29–42. 1971.

- [9] DI GLERIA, J., KLIMES-SZMIK, A. & DVORACEK, M.: Talajfizika és talajkolloidika. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1957.
- [10] GLOBUSZ, A. M.: Ekszperimental'naja gidrofizika pocsv. Gidromet. Izd. Leningrád. 1969.
- [11] HARTGE, K.: Die Ermittlung der Wasserspannungskurve aus der Körnungssummenkurve und der Gesamtporenvolumen. Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung. **10**. (1) 1969.
- [12] HOLLIS, J. M., JONES, R. J. A. & PALMER, R. C.: The effects of organic matter and particle size on water-retention properties of some soils in the west Midlands of England. Geoderma. **17**. 225—238. 1977.
- [13] HUSZ, G.: Ermittlung der pF-Kurve aus der Texture mit Hilfe von multiplen Regressionen. Z. Pflernähr. Düng. Bodenk. **116**. 115—125. 1967.
- [14] HUSZ, G.: Serienmässige Charakterisierung des Wasserhaushaltes von Bewässerungsböden in ariden und semiariden Gebieten. Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci. Adelaide. Vol. III. 565—576. 1968.
- [15] KOVÁCS, GY.: Characterization of molecular forces influencing seepage by means of the pF-curves. Agrokémia és Talajtan. **17**. Suppl. 1—12. 1968.
- [16] KOVÁCS, GY.: A szivárgás hidraulikája. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1971.
- [17] KOVÁCS, GY.: Combination of geometrical, dynamic and statistical models to determine hydraulic conductivity. In: „Hydraulic problems solved by stochastic methods”. 23-1-23-46. Water Resources Publications. Fort Collins. Colorado. 1977.
- [18] KOVÁCS, GY. & PÉCZELY, F.: A talajszelvény víztartóképesége. Agrokémia és Talajtan. **24**. 99—120. 1975.
- [19] LAL, R.: Physical properties and moisture retention characteristics of some Nigerian soils. Geoderma. **21**. 209—223. 1979.
- [20] MICSURIN, B. N.: Energetika pocsvennoj vlagi. Gidrometeoizdat. Leningrád. 1975.
- [21] MICSURIN, B. N. & LÜTAEV, I. A.: Vzaimnaja zavisimost' mezsdu szoderzsaniem vlagi, vszaszűvájuscin davleniem i udol'noj poverhnoszt'ju pocsvü. Pocsvovedenie. (8) 109—119. 1967.
- [22] Modelling of soil salinization and alkalization. (Eds.: KOVDA, V. A. & SZABOLCS, I.) Agrokémia és Talajtan. **28**. Suppl. 1979.
- [23] MORENO, F., MARTIN, J. & ARRUE, J. L.: Relaciones entre textura y retencion de humedad para el margen de pF 4,2—6,0 en suelos de Andalucia Occidental. An. edafol. y agrobiol. **37**. 335—344. 1978.
- [24] NERPIN, SZ. V. & CSUDNOVSKIJ, A. F.: Energo i masszoobmen v sziszteme rasztienepocsva-vozduh. Gidrometeoizdat. Leningrád. 1975.
- [25] NIELSEN, D. R. & SHAW, R. H.: Estimation of the 15-atmosphere percentage from hydrometer date. Soil Sci. **86**. 103—105. 1958.
- [26] RAJKAI, K. & VÁRALLYAY, GY.: A pF-görbe számítása a talaj térfogatsúlya és mechanikai összetétele alapján. Mezőgazd. Vízg. Kut. Magyarországon. 1980. VITUKI Közlemények. **35**. 16—18. 1981.
- [27] REEVE, M. J., SMITH, P. D. & THOMASSON, A. J.: The effect of density on water retention properties of field soils. J. Soil Sci. **24**. 355—367. 1973.
- [28] RODE, A. A.: Pocsvennaja vlaga. Izd. AN-SzSzSzR. Moszkva. 1959.
- [29] RODE, A. A.: Osznovü usenija a pocsvennoj vlage. Gidrometeoizdat. Leningrád. 1965.
- [30] RUSEVA, SZ.: Opedeljane krivata na vodozad'pzsane na pocsvata csrez szumarnata kriva na mehanicsnija sz'sztav i obsija oben na pocsvenite pori, Pocsv. i Agrohím. **15**. (3) 16—21. 1981.
- [31] STAKMAN, W. P. & HARST, G. G., VAN DER: Soil moisture retention curves. I. Directions for the use of the sand-box apparatus. Range pF 0 to 2,7. Inst. Land and Water Managm. Res. Wageningen. 1969.
- [32] STAKMAN, W. P. & HARST, G. G., VAN DER: Soil moisture retention curves. II. Pressure membrane apparatus. Range pF 3,0 to 4,2. Inst. Land and Water Managm. Res. Wageningen. 1969.
- [33] SZUDNICIN, J. J.: Dvizsenije pocsvennoj vlagi i vodopotrevlenije rasztienij. Izd. Moszkv. Univ. Moszkva. 1979.
- [34] Talajfizikai Laboratórium, Tanakajd. MÉM-NAK Kiadása. Budapest. 1980.
- [35] TRZECKI, S.: Determination of water capacity of soils on the basis of their mechanical composition. Roczniki Gleboznawcze. **25**. 33—44. 1974.
- [36] VÁRALLYAY, GY.: A talaj nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban. Agrokémia és Talajtan. **22**. 1—22. 1973.

- [37] VÁRALLYAY, GY.: A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata. MÉM Szabvány MÉMSz 206). Budapest. 1978.
- [38] VÁRALLYAY, GY.: A talajfizika helyzete és jövőbeni feladatai. *Agrokémia és Talajtan*. **27**. 203—218. 1978.
- [39] VÁRALLYAY, GY., ZILAHY, P. & MURÁNYI, A.: Magyarország talajainak vízháztartási típusai. *Mezőg. Vízg. Kut. Magyarországon*. 1980. *VITÜKI Közlem.* **35**. 12—14. 1981.
- [40] VÁRALLYAY, GY. et al.: A pF-görbék matematikai leírása. *Agrokémia és Talajtan*. **28**. 15—38. 1979.
- [41] VÁRALLYAY, GY. et al.: Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1 : 100 000 méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan*. **29**. 77—112. 1980.
- [42] VÁRALLYAY, GY. et al.: *Matematicheskoe opisaniye osnovnykh gidrofizicheskikh karakteristik pochv. AN SzSzSzR. NaücsnCentr. Biol. Iszszl. Inst. Agrohím. Pochv. Puschino*. 1981.
- [43] VISSER, W. C.: The relation between lithological properties and the shape of the desorption curve. In: „Water in the unsaturated zone”. Symp. 305—311. UNESCO/IAHS Paris. 1969.
- [44] VISSER, W. C.: An empirical expression for the desorption curve. *Inst. Land and Water Managm. Misc. Repr. No. 83*. 329—335. Wageningen. 1969.
- [45] ZAWADZKI, S.: The influence of mechanical composition of soils on soil-moisture retention. *Polish J. Soil Sci.* **3**. 11—16. 1970.
- [46] ZAWADZKI, S. & MICHALOWSKA, K.: The relationship between pF-values and soil-surface area. *Polish J. Soil Sci.* **7**. 47—52. 1974.
- [47] ZAWADZKI, S., MICHALOWSKA, K. & STAWINSKI, J.: The application of surface area measurements of soils for determination of the content of water unavailable for plants. *Polish J. Soil Sci.* **4**. 89—92. 1971.

Érkezett: 1981. március 20.

Calculation of Water Retention Data from the Texture and the Bulk Density of Soils

K. RAJKAI, G. VÁRALLYAY, YA. A. PACHEPSKY and R. A. SCHERBAKOV

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest
and Institute of Agricultural Chemistry and Soil Science of the Academy of Sciences of the USSR, Puschino

Summary

The need to know the water retention properties of soils is becoming more and more imperative in agricultural practice for the realization of a well controlled agricultural water management, including regulated soil-water regime. The determination of retention data of the soil is more complicated and expensive than the basic routine techniques (texture determinations, bulk density measurements, etc.).

On the basis of our sample collection (about 250 samples) — mainly from the Great Hungarian Plain — an evaluation technique was developed for the calculation of water retention data from the texture and the bulk density values of the soils.

The above three parameters of each soil sample served as the basis for the analysis of their relationships and the calculation of the parameters of the approximate equations (Table 3).

The relation-system existing among the points of pF-curves, pF-data, the fractions of mechanical composition and bulk density values were analyzed by two-variable-, multiple and stepwise regression, as well as dispersion analysis. Data were obtained on the correlation of moisture values measured at different pF-values, and it was revealed which particle fraction was in the closest correlation with each pF- and moisture value. Also, the relationships among the pF-curve points and bulk density values were analyzed.

On the basis of the correlation coefficients two parts of the pF-curve could be distinguished ($pF \leq 2$, $pF > 2$); the correlation within each part is high, but between

them it is low. In the low suction range ($pF \leq 1$) the moisture values were found to be in the highest correlation with the bulk density of the soil, while in the $pF > 1 - pF \leq 2.3$ range the 0.25–0.05 mm size particle fraction (fine sand), and in the $pF > 2.3$ range the clay fraction (< 0.002 mm) were the determinant factors.

By the application of equation (1) — the parameters of this equation are given in Table 4 — the points of pF -curves can be calculated directly from the mechanical fractions and bulk density values of the soil in question. The error of the calculation for the sample collection is lower than 3–4% in absolute value and less than 15% in relative value up to pF 4.2.

The calculation of pF -curves facilitates their use to characterize the soil physical-, soil-water management- and moisture regime properties of larger areas. Mapping of the above properties may become more accurate, less time consuming and less expensive. This method may also be used in agricultural advisory practice concerned with soil moisture regulation, water management and amelioration. Based on this method a monitoring- and prognosis system can be elaborated, which would include the use of pF -curves also to detect the changes in the soil-water management properties of soils.

Table 1. The origin (place, profile, horizons) of soil samples studied, their particle-size distribution and bulk density. (1) Code-number; (2) Soil types and place of origin; (3) Symbol and depth of genetic horizons (cm); (4) Depth of sampling (cm); (5) Particle-size distribution, % and particle size, mm; (6) Bulk density, g/cm^3 . Soil types according to their code-numbers: Slope deposits: 291–294; Blown sands: 301–310; Pseudomycelial chernozems: 613–618, 634–637; Pseudomycelial lowland chernozems: 429–437, 439–444, 450–453, 484–488, 503–513, 575–578, 587–590, 619–633, 638–640; Pseudomycelial lowland chernozems salty in deeper layers: 445–447, 459–460; Meadow chernozems: 426–428, 466–471, 478–482, 579–586, 591–594, 644–646; Light-textured chernozems on buried meadow soil: 595–596; Meadow soils covered by blown sand: 311–321; Chernozem-meadow soils: 571–573; Meadow soils: 297–300, 323–325, 327–331, 448–449, 455–458, 461–465, 473–477, 493–502, 517–528, 597–599, 641–643; Recent Tisza alluvial soil: 514–516; Double-layer alluvial soils: 489–492.

Table 2. Data of soil moisture retention curves for the studied soils (1) Code number of samples; (2) Moisture content in volume percentage at various suction (pF).

Table 3. The correlation matrix of pF -values, particle-size fractions and bulk densities. (1) Factor. (2) Moisture content, volume % at different pF -values. (3) Particle-size fractions, % (particle size in mm). (4) Bulk density, g/cm^3 .

Table 4. Results of regression analysis of pF -values, mechanical fractions and bulk densities. (1) Sample. Calculated for A) All samples; B) Meadow soils; C) Chernozems; (2) pF -values; (3) Variables giving maximal increase of correlation coefficient; (4) Correlation coefficients; (5) Parameters of the regression equation.

Table 5. The absolute (a) and relative (b) errors (%) of the differences between calculated and measured moisture values ($\theta\%$). (1) pF -values; (2) All samples; (3) Meadow soils; (4) Chernozems.

Fig. 1. Correlation between the moisture values measured at pF 0.4 (vertical axis $\theta\%$) and the highest correlating X_1 variable (bulk density, g/cm^3 , —horizontal axis) (a, b, c). Relationship of measured (vertical axis) and calculated (horizontal axis) moisture values ($\theta\%$) (d, e, f) — a. and d. for all samples; b. and e. for meadow soils; c. and f. for chernozems.

Fig. 2. Correlation between the moisture values measured at pF 4.2 (vertical axis, $\theta\%$) and the highest correlating X_1 variable (< 0.002 mm particle fraction, in $\%$) (a, b, c). Relationship of measured (vertical axis) and calculated (horizontal axis) moisture values ($\theta\%$) (d, e, f) — a. and d. for all samples; b. and e. for meadow soils; c. and f. for chernozems.

Fig. 3. Measured and calculated pF -curves of sand (301) and loam (435) textured soils. — a. measured; b. calculated on the basis of all samples; c. calculated on the basis of chernozems; d. calculated on the basis of meadow soils.

Berechnung von pF-Kurven aufgrund der Körnung und der Lagerdichte der Böden

K. RAJKAI, G. VÁRALLYAY, JA. A. PATSCHEPSKI
und R. A. SCHTSCHERBAKOW

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest
und Institut für Agrochemie und Bodenkunde der Akademie der Wissenschaften der Sowjetunion, Puschtschino
(UdSSR)

Zusammenfassung

Im Interesse der zeitgemässen landwirtschaftlichen Wasserwirtschaft und innerhalb dieser der Verwirklichung der modernen Bodenfeuchtigkeitsregelung wird eine Kenntnis der die Wasserhaushaltseigenschaften der Böden widerspiegelnden pF-Kurven in je weiteren Kreisen benötigt. Das direkte Messen von pF-Kurven beansprucht im Verhältnis zu den einfachen bodenkundlichen und bodenphysikalischen Routine-Untersuchungen viel Zeit und hohe Kosten.

Durch Verwendung des meistens aus dem Ungarischen Tiefland stammenden repräsentativen Probenmaterials (246 Proben) wurde ein Berechnungsverfahren zur Bestimmung der pF-Kurven in der Kenntnis der Körnung und der Lagerdichte des Bodens erarbeitet. Die gleichzeitige Bestimmung der Kennwerte Körnung, Lagerdichte und pF-Kurve diente zur Analyse ihrer Zusammenhänge und aufgrund des relativ zahlreichen Probenmaterials zur zuverlässigen Berechnung der annähernden Gleichungen (Tab. 3.).

Bei der Untersuchung des zwischen den einzelnen Punkten der pF-Kurve, wie auch zwischen diesen Punkten und der Menge der einzelnen Körnungsfractionen, bzw. der Lagerdichte der einzelnen Böden bestehenden Beziehungssystems wurde eine einfache, eine mehrfache, wie auch eine stufenweise Regressions-, und gleichzeitig eine Dispersionsanalyse durchgeführt. Im Laufe der Analyse erhielten wir Angaben über den Zusammenhang der bei den einzelnen pF-Werten gemessenen Werte des Feuchtigkeitsgehaltes und darüber, mit welcher Körnungsfraction der bei den einzelnen pF-Werten gemessene Feuchtigkeitsgehalt in allerengstem Zusammenhang steht. Die Analyse ermöglichte auch eine Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Lagerdichte und den Punkten der pF-Kurve.

Aufgrund der Korrelationskoeffizienten können zwei pF-Kurvenstrecken abgesondert werden ($pF \leq 2$, $pF > 2$), innerhalb welcher ein enger, aber zwischen welchen ein schwacher Zusammenhang besteht. Im niederen Tensionsbereich ($pF \leq 1$; unterer Abschnitt der pF-Kurve) zeigen die Werte des Feuchtigkeitsgehaltes den engsten Zusammenhang mit der Lagerdichte des Bodens, im Bereich von $pF > 1 - pF \leq 2,3$ ist im Allgemeinen die 0,25–0,05 mm Körnungsfraction bestimmend (feiner Sand), während im Bereich von $pF > 2,3$ die Tonfraction ($\phi < 0,002$ mm) dominiert.

Aufgrund der durch Anpassung der Regressionsgleichung (1) gewonnenen Koeffizienten (Tab. 4.) können — in Kenntnis der Körnung des Bodens und seiner Lagerdichte die einzelnen pF-Kurvenpunkte berechnet werden. Die Genauigkeit der Berechnung beträgt bezüglich des untersuchten Probenmaterials 3–4% im absoluten Wert, in relativem Wert liegt sie im Bereich von $pF < 4,2$ unter 15%.

Die Berechnung der pF-Kurven gewährt bedeutende Hilfe in der Kennzeichnung der bodenphysikalischen und Wasserhaushaltseigenschaften eines Gebietes. Sie ermöglicht eine rasche, genaue und billige Kartierung in grossem Massstabe der diesbezüglichen Bodeneigenschaften, sowie die Verwirklichung der Beratung aufgrund gemessener Angaben auf dem Gebiete der zeitgemässen Bodenfeuchtigkeitsregelung, der landwirtschaftlichen Wasserwirtschaft und der Melioration. Anwendbar ist die geschilderte Rechnungsmethode für den Ausbau eines durch die pF-Kurven zum Ausdruck gebrachten Wasserhaushaltsänderungen im Boden registrierenden «monitoring»-System und auch eines zur Hervorsage dieser Änderungen dienenden Prognosesystems.

Tab. 1. Benennung, Herkunftsort, Körnung und Lagerdichte der untersuchten Bodenproben. (1) Code-Nummer. (2) Bodentyp und Herkunftsort. (3) Bezeichnung und Tiefe des genetischen Horizontes, cm. (4) Tiefe der Probenahme, cm. (5) Körnung in % (Korngrösse: in mm). (6) Lagerdichte, g/cm³. Bodentypen nach den Code-Nummern: Hangschuttböden: 291–294; Wiesenböden: 297–300, 323–325, 327–331; 448–449, 455, 456, 458, 461–465, 473–477, 493–496, 497–502, 517–520, 522, 523, 524, 527, 528, 597–599, 641–643; Flugsand: 301–305, 306–310; mit Schleiersand bedeckte Wiesenböden: 311–316, 317–321; Wiesenschernosemböden: 426–428, 466–471, 478–

482, 579—582, 583—586, 591—594, 644—646; Tiefländische Tschernosemböden mit Kalkhüllen: 429—433, 434—437, 439—444, 450—453, 484—488, 503, 504, 506, 507, 508—513, 575—578, 587—590, 619—623, 624—628, 629—633, 638—640; in tiefen Schichten salzhaltige, tiefländische Tschernosemböden mit Kalkhüllen: 445—447, 459—460; zweischichtige Alluvialböden: 489—492; Rohe Alluvialböden an der Theiss: 514—516; Tschernosem-Wiesenböden: 571—573; Tschernosemartige Sandböden auf Wiesenboden entstanden: 595—596; Tschernosemböden mit Kalkhüllen: 613—618, 634—637.

Tab. 2. pF-Werte der untersuchten Bodenproben. (1) Code-Nummer. (2) Feuchtigkeitsgehalt (in Vol. %) bei den verschiedenen pF-Werten.

Tab. 3. Einfache Korrelationskoeffizienten von pF-, Körnungsfractionen-, bzw. Lagerdichtewerten. (1) Benennung. (2) Feuchtigkeitsgehalt (in Vol. %) bei den verschiedenen pF-Werten. (3) Körnung, % (Korngröße in mm). (4) Lagerdichte, g/cm³.

Tab. 4. Resultate der Regressionsanalyse von pF-, Körnungsfractionen- und Lagerdichtewerten. (1) Bodenproben. A) für sämtliche Proben berechnet; B) für die Wiesenböden berechnet; C) für die Tschernosemböden berechnet. (2) pF-Wert. (3) Variablen (Faktoren) die die maximale Zunahme des Korrelationskoeffizienten ergeben. (4) Korrelationskoeffizienten. (5) Koeffizienten der Regressionsgleichung.

Tab. 5. Absoluter (a) und relativer (b) Fehler (in %) der Abweichungen zwischen den mit Gleichung (1) berechneten und den gemessenen Feuchtigkeitsgehaltswerten. (1) pF-Werte. (2) Sämtliche Proben. (3) Wiesenböden. (4) Tschernoseme.

Abb. 1. Zusammenhang zwischen dem bei pF = 0,4 gemessenen Feuchtigkeitsgehalt (Ordinate, θ %) und der damit am engsten korrelierenden Variablen X_1 (Lagerdichte, g/cm³) (a, b, c); sowie das Verhältnis des gemessenen (Ordinate, θ %) und des aus der Regressionsgleichung berechneten Feuchtigkeitsgehaltes (Abszisse) (d, e, f). Bezeichnung der Kurven: für sämtliche Böden: a) und d); für Wiesenböden b) und e); für Tschernoseme c) und f).

Abb. 2. Zusammenhang zwischen dem bei pF = 4,2 gemessenen Feuchtigkeitsgehalt (Ordinate, θ %) und der damit am engsten korrelierenden Variablen X_1 (Menge der Körnungsfraction $\varnothing < 0,002$ mm, in %) [a), b), c)]; sowie das Verhältnis des gemessenen (Ordinate), und des aus der Regressionsgleichung berechneten Feuchtigkeitsgehaltes (Abszisse) [d), e), f)]. Bezeichnung der Kurven: a) und d) für sämtliche Böden; b) und e) für Wiesenböden; c) und f) für Tschernoseme.

Abb. 3. Gemessene und an Hand der Regressionsgleichung berechnete pF-Kurven von den Körnungsklassen «Sand» (301) und «Lehm» (435) angehörenden Böden. a) Gemessene; b) aufgrund sämtlicher Proben berechnete; c) aufgrund der Tschernoseme berechnete; d) aufgrund der Wiesenböden berechnete pF-Kurve.

Расчет кривых pF на основе механического состава и объемного веса почвы

К. РАЙКАЙ, Д. ВАРАЛЛЯЙ, Я. А. ПАЧЕПСКИЙ и Р. А. ЩЕРБАКОВ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт и Научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения Академии Наук СССР, Пушкино

Резюме

Для современного аграрного водного хозяйства, в частности для выбора приемов регулирования влажности почвы, необходимо знать кривые pF, отражающие водно-физические свойства почвы. Прямое измерение кривых pF, по сравнению с простыми, общепринятыми методами определения водно-физических свойств, требует много времени и средств.

Используя образцы почв, собранные в основном на Большой Венгерской Низменности, авторы разработали метод определения кривых pF на основе механического состава и объемного веса почвы. Одновременное определение механического состава, объемного веса почвы и кривых pF служит для оценки зависимости между этими тремя почвенно-физическими параметрами, а также для точных расчетов по уравнениям, на основе относительно большого количества образцов (Табл. 3).

Зависимости между отдельными точками кривых pF, а также систему зависимости между этими точками и содержанием в почве отдельных механических фракций изучили,

применяя регрессионный и дисперсионный анализы. В ходе анализа показали зависимость между величинами влажности, измеренной при различных pF, а также тесноту связи между влажностью и содержанием фракций механического состава для каждого значения pF. Метод позволяет исследовать связь между объемной массой почвы и отдельными точками кривых pF.

На основе коэффициентов корреляции выделяются два отрезка кривых pF ($pF \leq 2$; $pF > 2$), внутри которых существует тесная зависимость, а между ними — слабая зависимость. При низком всасывающем давлении ($pF \leq 1$) нижний отрезок кривой pF) влажность находится в самой тесной связи с объемным весом почвы, при более высоких влажностях ($pF > 1 - pF \leq 2,3$) ведущим фактором оказывается содержание фракции мелкого песка (0,25–0,05 мм), а при больших всасывающих давлениях ($pF > 2,3$) — содержание илистой фракции ($< 0,02$ мм).

На основании коэффициентов (Табл. 4.), полученных по регрессионному уравнению (1), зная механический состав и объемный вес почвы можно рассчитать отдельные точки кривых pF. Абсолютная ошибка расчетов лежит в основном в пределах 3–4%, относительная погрешность при pF 4,2 составляет 15%.

Расчеты кривых pF могут быть с успехом использованы для характеристики физических, водных и водно-хозяйственных свойств отдельных территорий. Они делают более быстрым, точным и дешевым подробное целевое картирование, помогают специалистам давать рекомендации базирующиеся на данных измерений, могут быть использованы при регулировании аграрного водного хозяйства и мелиорации почв. Игрют большую роль в создании систем мониторинга, регистрирующих влажность выраженную в pF, и систем прогноза.

Табл. 1. Название исследованных почвенных образцов, место их взятие, механический состав и объемный вес. (1) Кодовое число. (2) Тип почвы и место залегания. (3) Генетический горизонт и глубина, см. (4) Глубина взятия образцов, см. (5) Механический состав, фракции в мм., %. (6) Объемный вес г/см³. Почвенные типы по кодовым числам: Склоновые наносы: 291–294. Луговая почва: 297–300, 323–325, 327–331, 448–449, 455, 456, 458, 461–465, 473–477, 493–496, 497–502, 517–520, 522, 523, 524, 527, 528, 597–599, 641–643. Сыпучие пески: 301–305, 306–310. Луговые почвы покрытые песками: 311–316, 317–321. Луговые черноземы: 426–428, 466–471, 478–482, 579–582, 583–586, 591–594, 644–646. Алфёльдские мицелярные черноземы: 429–433, 434–437, 439–444, 450–453, 484–488, 503, 504, 506, 507, 508–513, 575–578, 587–590, 619–623, 624–628, 629–633, 638–640. Глубокозасоленные алфёльдские мицелярные черноземы: 445–447, 459–460. Двухслойные аллювиальные почвы: 489–492. Свежий аллювий Тиссы: 514–516. Черноземовидные луговые почвы: 571–573. Черноземовидный песок на погребенной луговой почве: 595–596. Мицелярный чернозем: 613–618, 634–637.

Табл. 2. Величины pF изученных почвенных образцов. (1) Кодовое число. (2) Влажность в объемных процентах при различных pF.

Табл. 3. Коэффициенты корреляции величин pF, фракций механического состава и объемного веса почвы. (1) Название. (2) Влажность в процентах объема при различных значениях pF. (3) Механический состав, % (фракции в мм). (4) Объемный вес г/см³.

Табл. 4. Результаты анализа регрессии величин pF, механического состава и объемного веса почвы. (1) Образец. А) Для всех образцов. В) Для луговых почв. С) Для черноземов. (2) Значения pF. (3) Переменные (факторы) вызывающие максимальное увеличение коэффициентов корреляции. (4) Коэффициенты корреляции. (5) Сомножители регрессионного уравнения.

Табл. 5. Разницы между величинами влажности в объемных процентах, рассчитанными по уравнению (1) и измеренными, в % от абсолютной (а) и относительной (б) ошибки. (1) Величины pF. (2) Общее количество образцов. (3) Луговые почвы. (4) Черноземы.

Рис. 1. Зависимость между влажностью измеренной при pF = 0,4 (вертикальная ось, θ) и находящейся с ней в самой тесной корреляции переменной X_1 (объемный вес, г/см³) (а, б, с); а также соотношение измеренной (вертикальная ось, θ) и рассчитанной по регрессионному уравнению (горизонтальная ось) влажности (d, e, f). а) и d) для всех образцов. б) и e) для луговой почвы. с) и f) для черноземов.

Рис. 2. Зависимость между влажностью измеренной при pF = 4,2 (вертикальная ось, θ %) и находящейся с ней в самой тесной корреляции переменной X_1 (содержание фракции $< 0,002$ мм) (а, б, с); а также соотношение измеренной (вертикальная ось, θ %) и рассчитанной по регрессионному уравнению (горизонтальная ось) влажности (d, e, f). а) и d) для всех образцов. б) и e) для луговой почвы. с) и f) для черноземов.

Рис. 3. Кривые pF для песчаных (301), и суглинистых (435) почв измеренные и рассчитанные по регрессионным уравнениям. а) измеренные. б) рассчитанные на основании всех образцов. с) рассчитанные для черноземов. d) рассчитанные для луговых почв.